Anat. 304 s

Munk

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DAS

WESEN DER NERVEN-ERREGUNG

VON

D^R. HERMANN MUNK,

PRIVATDOCENTEN AN DER UNIVERSITÄT ZU BERLIN.

„Jeder Forscher muss sich durchaus ansehen als Einer, der zu einer Jury berufen ist. Er hat nur darauf zu achten, inwiefern der Vortrag vollständig sei und durch klare Belege auseinander gesetzt. Er fasst hiernach seine Ueberzeugung zusammen und gibt seine Stimme, es sei nun, dass seine Meinung mit der des Referenten übereintreffe oder nicht."

Goethe.

(Ueber Naturwissenschaft im Allgemeinen.)

ERSTER BAND.

MIT 26 ABBILDUNGEN.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1868.

179 - 9.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

DEN HERREN

E. DU BOIS-REYMOND

UND

L. TRAUBE

HOCHACHTUNGSVOLL

GEWIDMET.

Vorrede.

Der Beginn der vorliegenden Untersuchungen fiel in den Herbst 1859. Pflüger's »Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus« hatten eben die Kenntniss der physiologischen Erscheinungen am Nerven weit gefördert, wie es nach den Epoche machenden Untersuchungen E. du Bois-Reymond's über die elektromotorischen Eigenschaften des Nerven dringender Wunsch hatte sein müssen. Aber gewisse Hoffnungen waren nicht in Erfüllung gegangen. Die »Einerleiheit des Nervenwesens und der Elektricität«, die elektrische Moleculartheorie des Nerven war, wenngleich noch nicht, so zu sagen, officiell hingestellt oder zum Mindesten vollständig entwickelt, doch schon von der fast allgemeinen Ueberzeugung getragen: und für sie hatte man von einer so umfassenden Reihe physiologischer Forschungen, wie sie Pflüger darbot, eine wesentliche Stütze erwarten dürfen. Anders war es gekommen. Die neuen Erfahrungen hatten Pflüger gerade veranlasst, eine neue Theorie der inneren Mechanik des Nerven zu entwerfen; und wie man auch über diese Theorie denken mochte, nicht war zu sagen, dass Pflüger ganz voreilig von der Moleculartheorie sich abgewandt hatte. Sah man doch auch in der Folgezeit andere frühere Anhänger der Moleculartheorie theils das Wesen der Erregung in chemischen Vorgängen vermuthen, theils eine wesentliche Modification der Moleculartheorie für nothwendig erklären. Mit dem Zuwachs an Erfahrungen war offenbar die Aussicht auf das Verständniss der Nerven-Erregung ferner gerückt, statt näher, und neue Arbeit war nothwendig, um wenigstens den alten Standpunkt wiederzugewinnen.

Wie die Arbeit in Angriff zu nehmen, war bei ausreichender Zweifelsucht unschwer zu übersehen. Wo die Ermittelungen du Bois-Reymond's

und PFLÜGER's nicht zu bewältigende Widersprüche für das Verständniss darboten, war nach Fehlern in den einen oder den anderen Ermittelungen zu suchen: mit der Moleculartheorie im Hintergrunde hatte man PFLÜGER's Ermittelungen kritisch durchzugehen; unter der Leitung der Ergebnisse PFLÜGER's, da dessen Theorie wohl kaum Anhaltspunkte bot, hatte man DU BOIS-REYMOND's Ermittelungen zu mustern. Auch war zu bedenken, dass die elektrischen Vorgänge doch nur die bis dahin allein bekannt gewordenen, nicht aber überhaupt die einzigen physikalisch-chemischen Vorgänge im Nerven zu sein brauchten, welche in Beziehung zur Nerven-Erregung sich setzen liessen; und man konnte unmittelbar nach anderen Vorgängen der Art suchen, in der Hoffnung solche zu finden, welche noch innigere Beziehungen zur Nerven-Erregung als die elektrischen Vorgänge darbieten würden.

So vorurtheilsfrei war ich indessen nicht, als ich an der Arbeit nach Kräften mich zu betheiligen beschloss, um irgend einen dieser Wege zu betreten. Von der »lawinenartigen Anschwellung der Reizung« abgesehen, für welche mir ein exacter Beweis weder von PFLÜGER geliefert noch überhaupt zur Zeit möglich erschien, waren DU BOIS-REYMOND's wie PFLÜGER's Ermittelungen für mich unantastbare Wahrheiten, da ich von der Richtigkeit der wesentlichsten Beobachtungen selbst mich überzeugt hatte und nur die nächstliegenden und, wie es schien, zweifellos bindenden Schlüsse aus den Beobachtungen gezogen sah. Auch wurzelte die Ueberzeugung von der Richtigkeit der Moleculartheorie in mir zu tief, als dass ich auf den letzten Weg hätte verfallen mögen, für welchen es übrigens damals schwer gewesen wäre einen guten Ausgangspunkt zu gewinnen. Mir drängte sich als leitender Gedanke nur auf, dass die vorhandenen Erfahrungen wohl noch nicht ausreichend sein dürften, die grossen Verwickelungen zu lösen, und dass neue Erfahrungen die scheinbaren Widersprüche wahrscheinlich versöhnen würden. Wie zu solchen Erfahrungen zu gelangen wäre, blieb vor der Hand allerdings ganz dunkel; doch liess sich darauf rechnen, dass von jedem einigermassen zutreffenden Anfange der Untersuchung aus früher oder später dem aufmerksamen Beobachter ein richtiger Angriffspunkt sich zeigen würde.

Von gewissen Ueberlegungen in Bezug auf PFLÜGER's lawinenartige Anschwellung der Reizung geleitet, ging ich von der Prüfung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung in verschiedenen Strecken des Nerven aus; und ich sah bald mich veranlasst, das Erregungsmaximum

der Nervenstrecke, welches durch die grösste Hubhöhe des Muskels, die durch die Einwirkung eines momentanen Erregers auf die Nervenstrecke zu erlangen war, immer dann sich messen liess, wenn es dem Zuckungsmaximum des Muskels an Grösse nicht gleichkam, genauer zu untersuchen. Zu meiner Ueberraschung stellte sich heraus, dass das Erregungsmaximum den bekannten Erregbarkeits-Gesetzen sich nicht fügte: und doch war gar nicht abzusehen, weshalb die Erregbarkeitsveränderungen des Nerven nicht so, wie sonst, auch am Erregungsmaximum sich darthun sollten. Hätte ich auf Grund dessen die früheren Erregbarkeits-Bestimmungen verdächtigt, mir wäre wahrscheinlich sogleich ein wesentlicher Fortschritt gelungen. Aber solcher Verdächtigung war ich gerade in Folge der PFLÜGER'schen Untersuchungen, wie schon bemerkt, nicht fähig, und ich sah in meinem Funde Nichts als einen Angriffspunkt, wie ich ihn gesucht hatte. Die Verschiedenheit der Ergebnisse bei den verschiedenen Methoden der Erregbarkeits-Bestimmung schien mir nur auf die Weise erklärlich, dass die verschiedenen Untersuchungsweisen verschiedene Verhältnisse des Nerven kennen lehrten; und da die Erregbarkeits-Gesetze, soweit ich sie bis dahin mit Hülfe des Erregungsmaximum constatirt hatte, für das Verständniss nicht in solchem Widerspruche mit den Ergebnissen der physikalischen Untersuchungen standen wie die anderweitig bekannt gewordenen Erregbarkeits-Gesetze, glaubte ich den neuen vermittelnden Erfahrungen, welche ich erstrebte, auf die Spur gekommen zu sein und die Spur mit Ausdauer verfolgen zu müssen.

Untersuchung reihte sich an Untersuchung. Nicht nur wurde das Verhalten der Erregbarkeit unter den verschiedensten Bedingungen mit Hülfe der verschiedenen Methoden festgestellt, sondern es wurden auch viele die Erregung und die Leitungsgeschwindigkeit der Erregung betreffende Fragen, wie sie gerade die nebenhergehenden Ueberlegungen aufdrängten, beantwortet. Als Jahre vergangen waren, hatte ich die vorgefundenen Erfahrungen über die physiologischen Erscheinungen am Nerven kritisch gesichtet und zahlreiche neue Erfahrungen aufgehäuft. Doch weit entfernt davon, meinen Zweck erreicht zu haben, musste ich mir eingestehen, dass der Knoten unter meinen Händen nur noch fester geworden war, statt dass er sich hatte lockern sollen. Denn der Summe physiologischer Erfahrungen gegenüber, welche nunmehr mir vorlag, erwiesen sich die früheren Vorstellungen als unhaltbar, und wenn es mir auf Grund neuer Vorstellungen wohl auch gelang, die Erfahrungen in kleine Gruppen zu sammeln, so

liessen doch diese Gruppen nicht weiter sich vereinigen; von einer Verknüpfung der physiologischen mit den physikalischen Erscheinungen am Nerven konnte dann mindestens ebensowenig wie vorher die Rede sein. Trotzdem glaubte ich noch nicht verzweifeln zu dürfen, und das Ausharren schien mir um so mehr geboten, als das Interesse an dem Gebiete, das doch vor Kurzem noch so rege gewesen war, nunmehr, obwohl die wesentlichsten Fragen des Gebietes nach wie vor der Erledigung harrten, offenbar erkaltet war.

Mir wurde Hülfe von einer Seite, von welcher ich sie nicht erwartet hatte. Als ich im Februar 1863 die Folgen der Durchschneidung des Nerven für die unterhalb des Schnittes gelegenen Nervenstrecken, weil diese Folgen immer und immer wieder meine Aufmerksamkeit fesselten, von Neuem untersuchte und für die Prüfung der durch die Durchschneidung herbeigeführten Widerstandsveränderungen mich nicht, wie sonst, auf Versuche an Thon- und Eiweiss-Prismen beschränkte, sondern zu Versuchen am Nerven selbst überging, fand ich, dass der Nerv unter den Umständen, unter welchen secundärer Widerstand nach dem Entdecker desselben nicht auftreten sollte, doch secundären Widerstand annahm. Der Fund war nach dem Stande der Lehre vom secundären Widerstande gar nicht von Belang. Seine Bedeutung lief danach nämlich nur darauf hinaus, dass die Kochsalzlösung, welche mir eben als Zu- und Ableitungsflüssigkeit des Stromes zum Nerven gedient hatte, aus der Reihe der den secundären Widerstand versagenden Flüssigkeiten zu streichen und in die Reihe der den secundären Widerstand gebenden Flüssigkeiten einzufügen sein würde. Doch an diesen Ideengang, welcher den neuen Angriffspunkt, der sich mir darbot, sofort mir wieder entrückt hätte, war ich glücklicherweise nicht gebannt; dieses Mal vermied ich glücklich die Klippe, an welcher meine Bemühungen auch ferner hätten scheitern können.

Zunächst liess der Umstand, dass auch bei meinem Studium der physiologischen Erscheinungen der Nerv häufig zwischen Kochsalzlösung durchströmt gewesen war, die Befürchtung in mir entstehen, dass in Folge des secundären Widerstandes Irrthümer in die Erfahrungen, welche ich früher gewonnen hatte, sich eingeschlichen haben dürften und zwar nicht nur in die Erfahrungen über die intrapolare Nervenstrecke, sondern — der alinearen Durchströmung des Nerven wegen, auf deren Beachtung ich schon längst anderweitig geführt worden war — auch in die Erfahrungen über die extrapolaren Nervenstrecken. Die Zahl der vorliegenden Erfahrungen,

welche ich verdächtigen musste, wuchs dann noch, als die nächsten Versuche lehrten, dass auch die anderen Arten von Zu- und Ableitung des Stromes, welche bei den physiologischen Versuchen bis dahin in Anwendung gekommen waren, secundären Widerstand nach sich zogen. Und nachdem ich so einmal in's Zweifeln gekommen war, fielen mir endlich die Schuppen ganz von den Augen, und ich erkannte, worauf allerdings früher zu kommen Anlass genug ich gehabt hatte, dass bei allen Erregbarkeits-Untersuchungen, welche mit Hülfe der von mir vorgefundenen Methoden ausgeführt worden waren, wenn neben der Erregbarkeit auch der Widerstand der Nervenstrecke sich verändert hatte, die Veränderung des Widerstandes eine Fehlerquelle für die Bestimmung der Erregbarkeit hatte abgeben müssen.

Aber noch mehr. Da ich durch meinen Fund in thatsächlichen Widerspruch mit einem der zuverlässigsten Forscher gerathen war, hatte ich zum Zwecke grösster Sicherheit die Versuche häufig und unter mannigfachem Wechsel der Bedingungen angestellt. Erwog ich nunmehr die Ergebnisse, so liessen sie keine andere Deutung zu, als dass bei der alinearen, nicht bei der linearen Durchströmung des Nerven die intrapolare Nervenstrecke in Folge der Flüssigkeitsfortführung durch den Strom auch ganz unabhängig von der Art der Zu- und Ableitung des Stromes in ihrem Widerstande verändert würde. Und lag darin keine Täuschung vor, so musste die Flüssigkeitsfortführung im Nerven bei der alinearen Durchströmung des Nerven, also immer bei unseren Versuchen am Nerven mit Hülfe des Stromes, eine eigenthümliche sein, von der normalen Flüssigkeitsfortführung in den feuchten porösen Körpern abweichen. Ich war alsdann auf bisher ganz unbekannte Vorgänge in der durchströmten Nervenstrecke gestossen, welche mit jeder Durchströmung des Nerven zu physiologischen Zwecken unbedingt verknüpft und für die physiologischen Erscheinungen am Nerven möglicherweise von Bedeutung waren.

Meine neuen Aufgaben waren damit klar vorgezeichnet. Vor Allem war den fraglichen Vorgängen nachzugehen und zwar, bis etwa noch andere Hülfsmittel sich fanden, durch die Untersuchung der Widerstandsveränderungen des Nerven in Folge der Durchströmung. Sodann war das Verhalten des Widerstandes des Nerven auch unter dem Einflusse anderer Umstände festzustellen. Welche Ausdehnung diesen physikalischen Untersuchungen vortheilhaft zu geben war, dafür konnten die zahlreichen physiologischen Erfahrungen massgebend sein, welche ich früher gesammelt

hatte. Weiter handelte es sich darum, aus den von mir vorgefundenen Erregbarkeits-Bestimmungen die Fehler zu eliminiren, welche durch die Widerstandsveränderungen des Nerven etwa bedingt waren. Endlich waren die Beziehungen der verschiedenen physikalischen Erscheinungen am Nerven zu einander und von Neuem die Beziehungen der physikalischen zu den physiologischen Erscheinungen am Nerven zu untersuchen.

Bis August 1863 wurden durch die Verfolgung der Widerstands- und Gestalts-Veränderungen des Nerven jene besonderen Vorgänge in der durchströmten Nervenstrecke mir genauer bekannt; die sie bedingenden Momente waren jedoch noch nicht erfasst, und ebensowenig war ein Verständniss der auffallenden neuen Ergebnisse gewonnen, dass nämlich in den extrapolaren Nervenstrecken Widerstandsveränderungen in Folge der Flüssigkeitsfortführung durch den Strom auch da herbeigeführt wurden, wo der Nerv unmöglich noch von wirksamen Stromfäden durchsetzt sein konnte. Verhältnisse, welche hier nicht zu erwähnen sind, machten mir damals die Fortsetzung der physikalischen Untersuchungen einstweilen unmöglich, und es beschäftigten mich bis zum Ende des Jahres die Veränderungen der Erregbarkeit des Nerven in Folge der Durchströmung. Durch die Eliminirung der durch die Widerstandsveränderungen des Nerven bedingten Fehler nahmen die Ergebnisse eine ganz andere Form, als früher bei Pflüger's Untersuchungen, an; sie standen aber auch jetzt noch in offenbarem Widerspruche mit der Moleculartheorie.

Das Jahr 1864 ging in Folge meiner Theilnahme am Feldzuge in Schleswig für die Untersuchungen verloren.

Anfangs 1865 wurden die physikalischen Untersuchungen wieder aufgenommen und in der beabsichtigten Weise durchgeführt. Den Widerstandsuntersuchungen an den extrapolaren Nervenstrecken musste eine erneute Untersuchung des Elektrotonus in elektromotorischer Beziehung voraufgehen, weil derselbe eine Fehlerquelle für jene Untersuchungen abgab. Neben den physikalischen Erscheinungen am Nerven wurden immer auch die sogenannten Zuckungsgesetze verfolgt. Ich erkannte, dass die Anhomogenität des Nerven, der Wechsel von Nervenhülle und Nerveninhalt in demselben, bei der alinearen Durchströmung des Nerven es bedingt, dass die senkrechten Querschnitte der Nervenfasern in der durchströmten Strecke Veränderungen ihres Flüssigkeitsgehaltes durch den Strom erfahren. Es ergab sich ferner, dass in Folge der Elasticität des Nerven eine Abgleichung des Flüssigkeitsgehaltes zwischen den Querschnitten der durch-

strömten Strecke und den übrigen Querschnitten des Nerven eintritt, so dass eine Bewegung der Nervenflüssigkeit während wie nach der Durchströmung auch in den nicht durchströmten Strecken des Nerven erfolgt. Ferner stellte sich heraus, dass auf die thermischen, die chemischen und die Flüssigkeitsgehalts-Veränderungen, welche der Nerv durch den Strom erfährt, die Veränderungen der elektromotorischen Erscheinungen am durchströmten Nerven sich zurückführen lassen. Endlich war ich gegen Ende 1865 so weit gekommen, dass ich die vorliegenden physiologischen Erfahrungen am durchströmten Nerven auf die physikalischen Veränderungen des Nerven zurückführen konnte unter der Annahme, dass die Erregung des Nerven nichts Anderes ist als die Bewegung der Nervenflüssigkeit.

In den ersten Monaten des folgenden Jahres gelang es mir noch, die Bewegung der Nervenflüssigkeit in der ganzen Länge des Nerven bei elektrischer, mechanischer und chemischer Reizung einer beschränkten Stelle des Nerven auf einem mehr unmittelbaren Wege nachzuweisen. Und es beschäftigten mich gerade die Erregbarkeits-Veränderungen des Nerven bei mechanischer und chemischer Reizung, welche werthvolle Bürgschaften für die Richtigkeit der früheren Ergebnisse der Untersuchungen lieferten, als Anfangs Mai der Krieg gegen Oesterreich auf's Neue den friedlichen Beschäftigungen mich entzog.

Von der ganzen grossen Reihe meiner Untersuchungen war damals fast noch Nichts veröffentlicht. Ursprünglich Willens, meinen Erwerb nach und nach in Journalaufsätzen niederzulegen, hatte ich aus den ersten Anfängen meiner Untersuchungen, was einen befriedigenden Abschluss zuzulassen schien, herausgenommen und im *Archiv für Anatomie und Physiologie* mitzutheilen begonnen. Aber schon Mitte 1861 hatte ich die Mittheilungen abgebrochen, als ich, mit den Untersuchungen den Veröffentlichungen weit voraus, im Verständniss nicht nur meiner neuen Erfahrungen, sondern auch der alten Erfahrungen, auf welchen ich gefusst hatte, mich getäuscht sah. Erst Ende 1865 schien mir die Zeit zur Veröffentlichung meiner Untersuchungen gekommen zu sein, und ich traf alle Vorbereitungen dahin, dass im Juli 1866 der Druck der Untersuchungen beginnen sollte.

Der Krieg in Aussicht vereitelte meinen Plan; und bei der ungewissen Dauer des Krieges und den tausend Zufällen, welchen ich selbst wie meine Tagebücher und Manuscripte während des Feldzuges ausgesetzt waren, hielt ich es im Mai 1866 für gerathen, die Ergebnisse meiner Untersuchungen sogleich zu veröffentlichen. Sie erschienen unter dem Titel

»Untersuchungen zur allgemeinen Nervenphysiologie« im *Archiv für Anatomie u. s. w.*, Jahrgang 1866, S. 369—90. In ihrer Fassung war die Mittheilung mit darauf berechnet, dass sie, soweit ihre Kürze es gestattete, eine brauchbare Anleitung zur Wiederholung meiner Untersuchungen gab.

Dem Versprechen, welches der Schluss meiner Mittheilung enthielt, dass die ausführliche Darlegung der Untersuchungen nach der Beendigung des Krieges schleunigst nachfolgen sollte, komme ich mit dem vorliegenden Werke nach. Der Druck desselben hat schon im November v. J. begonnen, ist aber etwas langsam vorgeschritten, weil die Liberalität meines rühmlichst bekannten Verlegers es mir gestattet, die wesentlichsten Beobachtungen vor dem Drucke nochmals zu controliren und diese oder jene Lücke auszufüllen. Der Druck des zweiten Bandes wird unmittelbar weitergehen, so dass dieser Band in nicht zu langer Zeit nachfolgen wird.

In der Darlegung der Untersuchungen führe ich den Leser im Grossen und Ganzen den Weg, auf welchem ich seit Februar 1863 in der Erkenntniss vorgeschritten bin und der auch schon in der Mittheilung im *Archiv u. s. w.* 1866 eingehalten worden ist. Die Anordnung der Einzeluntersuchungen ist durch die nothwendige Gliederung des Stoffes bedingt.

Neue Namen einzuführen, habe ich vielleicht allzu ängstlich vermieden. Es ist mir nicht entgangen, dass meine schleppenden Bezeichnungen der Vorgänge öfters die Mühen, die ich auch auf die Form verwandt habe, vereitelt, ja sogar für die flüchtige Durchsicht hin und wieder das richtige Verständniss erschwert haben. Indessen wird, wer die Untersuchungen aufmerksam verfolgt, sehr bald an die Bezeichnungen sich gewöhnt und das leichte Verständniss der Darlegung sich gesichert haben. Und ich selbst habe alle Nachtheile meiner Bezeichnungen lieber ertragen wollen, als meinerseits ähnliche Verhältnisse veranlassen wie die, unter welchen ich so sehr gelitten hatte: veranlassen, dass, nachdem der neue Name eines aus den Beobachtungen erschlossenen Vorganges allgemein in Gebrauch gekommen, mit der Richtigkeit der Beobachtungen sogleich auch der Vorgang als festgestellt angesehen werde und die Anregung zur Prüfung des Schlusses verloren gehe.

Die Versuchsbeispiele, welche bei den quantitativen Untersuchungen gegeben sind, liessen sich nicht umgehen, sollte der Leser eine Vorstellung von der Grösse der Veränderungen, um welche es sich handelte, gewinnen. Sie werden auch das Verständniss der Darlegung an manchen Stellen unterstützen und den Vortheil bieten, das der Leser selbst die

Zuverlässigkeit der Ergebnisse durch die Einsicht in die Grösse der wesentlichen Veränderungen im Verhältniss zur Grösse der möglichen Fehler zu beurtheilen vermag. Für die Auswahl der Beispiele war massgebend, dass in möglichst kleinem Raume möglichst viel dargethan und Controlen oder untergeordnetere Wahrnehmungen, welche in der Darlegung nicht Erwähnung gefunden hatten, ersichtlich würden. Solche Beispiele, welche das, worauf es ankam, in mehr als gewöhnlicher Weise deutlich zeigten, sind überall geflissentlich vermieden worden. Hin und wieder schliessen die Versuche Erfahrungen von vor der Hand geringerem Interesse ein, welche noch nicht in's Reine gebracht sind und weiter verfolgt zu werden verdienen.

Geschichtliche Abrisse sind principiell ausgeschlossen worden: sie finden sich in aller nur wünschenswerthen Ausführlichkeit in Werken jüngster Zeit, auf welche ich verwiesen habe. Die Autoren und die Literatur sind mit grosser Sorgfalt angeführt, und ich hoffe, dass ich keine erhebliche Auslassung zu bedauern haben werde. Wo das Anrecht mehrerer Forscher an einen Fund in Frage kommen könnte, liegen der Art meiner Anführung eingehende Studien zu Grunde. Das Sternchen bei den Citaten zeigt an, dass ich die Stellen für den Druck nochmals eingesehen habe. Bei den Verweisungen auf frühere oder spätere Stellen des vorliegenden Werkes selbst ist, wo nicht Abschnitt, Kapitel u. s. w. angegeben ist, derselbe Abschnitt, dasselbe Kapitel u. s. w. zu verstehen.

Zum Schlusse kann ich es nicht unterlassen, innigen Dank auch hier meinem Vater auszusprechen, der die Mittel zu den Untersuchungen mit seltener Liebe mir gewährt hat.

Berlin, im August 1867.

Hermann Munk.

Nachweis der Abbildungen.

Figur	Seite	Figur	Seite
1	19	15	203
2	21	16	218
3	21	17	241
4	39	18	242
5	48	19	320
6	74	20	340
7	100	21	348
8	105	22	362
9	117	23 A.	390
10	117	23 B. C.	393
11	138	24 A. B. C.	414
12 a—h.	156	25 A. B.	415
13	162	26	419
14 A. B.	170		

Inhaltsverzeichniss des ersten Bandes.

Erster Abschnitt.

Einleitung.

Kapitel I.

Seite

Uebersicht der physikalischen Veränderungen der feuchten porösen Körper unter dem Einflusse des galvanischen Stromes.

§ 1. Elektrolyse. Polarisation. 1

§ 2. Fortführung der Flüssigkeit. Secundärer Widerstand. 6

§ 3. Erwärmung. 12

Kapitel II.

Uebersicht der physikalischen Veränderungen des Nerven unter dem Einflusse des galvanischen Stromes.

§ 1. Elektrolyse. Polarisation. 13

§ 2. Fortführung der Flüssigkeit. Secundärer Widerstand. —

§ 3. Erwärmung. 14

§ 4. Veränderung der elektromotorischen Eigenschaften des lebenden Nerven. Elektrotonischer Zustand des Nerven. —

Zweiter Abschnitt.

Untersuchung der vom galvanischen Strome durchflossenen Nervenstrecke.

Vorbemerkungen. 17

Kapitel I.

Methode.

§ 1. Methode der Widerstandsuntersuchung. 19

§ 2. Hülfsmittel der Untersuchung. 28

Kapitel II.

Untersuchung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke und Zurückführung derselben auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke.

§ 1. Erste Darlegung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung. 34

(1.) Ueber die Widerstandsveränderungen der Zuleitungsröhren bei ihrer Durchströmung. 35

Seite

(2.) Ueber die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke 41
§ 2. Die aufgefundenen Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung sind Folgen der Durchströmung 51
§ 3. Zurückführuug der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke in Folge der Durchströmung auf die inneren Vorgänge in dieser Nervenstrecke 52
§ 4. Ueber die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke nach der Umkehrung der Stromrichtung 54
§ 5. Zurückführung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke durch den Strom in umgekehrter Richtung auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke 68
§ 6. Fortgesetzte Untersuchung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung in Einer Richtung 70
§ 7. Fortgesetzte Zurückführung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke durch den Strom in Einer Richtung auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke 76
§ 8. Fortgesetzte Zurückführung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke durch den Strom in umgekehrter Richtung auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke 87
§ 9. Ueber die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke unmittelbar nach ihrer Durchströmung 91
§ 10. Zurückführung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke unmittelbar nach ihrer Durchströmung auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke 100
§ 11. Ueber die Gestaltsveränderungen des Nerven in Folge der Durchströmung. 104
§ 12. Nachträgliche Bemerkungen zur Zurückführung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke 108

Kapitel III.

Von dem Einflusse verschiedener Umstände auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke und auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke.

§ 1. Von dem Einflusse der Stromintensität 116
(1.) Von dem Einflusse der Stromintensität auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke —
(2.) Von dem Einflusse der Stromintensität auf die stellenweise Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit 149
§ 2. Von dem Einflusse der Länge und des Querschnittes der intrapolaren Nervenstrecke 160
(1.) Von dem Verfahren der Opposition 161
(2.) Von dem Einflusse der Länge auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke 167
(3.) Von dem Einflusse des Querschnittes auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke 170
(4.) Von dem Einflusse der Länge und des Querschnittes auf die stellenweise Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit . 176
§ 3. Von dem besonderen Einflusse der Grösse der Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der positiven Zuleitungsröhre 177
§ 4. Von dem Einflusse der Lebensfähigkeit des Nerven 191
§ 5. Von dem Einflusse des natürlichen Todes des Nerven 198
(1.) Von dem Einflusse der Zeit nach dem Tode des Thieres —
(2.) Von den Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit nach der Trennung des Nerven vom lebenden Gesammtorganismus . . . 204
(3.) Von der Abhängigkeit der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit von verschiedenen Umständen — und von den inneren Vorgängen im Nerven, welche seine Widerstandsveränderungen mit der Zeit bedingen 217

Seite

(4.) Vergleich der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke bei und nach der Durchströmung einerseits und der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke mit der Zeit andererseits. 227
(5.) Von den engeren Beziehungen der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit und der sie bedingenden inneren Vorgänge im Nerven zum Absterben des Nerven. 229
§ 6. Von dem Einflusse der Temperatur des Nerven. 236
(1.) Von den Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Temperatur. —
(2.) Von dem Einflusse der Widerstandsabnahme des Nerven unmittelbar in Folge der Temperaturerhöhung auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke. 266
(3.) Von dem Einflusse der Widerstandsabnahme des Nerven unmittelbar in Folge der Temperaturerhöhung im Besonderen und des specifischen Widerstandes der Nervenflüssigkeit im Allgemeinen auf die stellenweise Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit. 268
(4.) Von dem Einflusse der Temperatur auf die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit und auf die inneren Vorgänge im Nerven, welche diese Widerstandsveränderungen bedingen. 270
§ 7. Von dem Einflusse voraufgegangener Durchströmung des Nerven. . . . 281
(1.) Von dem Einflusse voraufgegangener Durchströmung auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke. —
(2.) Von dem Einflusse voraufgegangener Durchströmung auf die stellenweise Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit. . 285
(3.) Von den chemischen Vorgängen im Nerven und den Veränderungen der chemischen Constitution des Nerven unter verschiedenen Umständen, insbesondere bei der Durchströmung. 291
§ 8. Von dem Einflusse der Richtung des Stromes im Nerven. 318
(1.) Von der queren und schrägen Durchströmung des Nerven. . . . —
(2.) Von der auf- und absteigenden Durchströmung des Nerven. . . . 324
§ 9. Von dem Einflusse der anatomischen Lage der intrapolaren Nervenstrecke. 329
§ 10. Von dem Einflusse der Grösse (Dicke) des Nerven. 334
§ 11. Von dem Einflusse der Länge des Nerven zu den Seiten der intrapolaren Nervenstrecke. 335

Kapitel IV.

Von den Widerstandsveränderungen der einzelnen Stellen der intrapolaren Nervenstrecke und den inneren Vorgängen in denselben.

§ 1. Von den Widerstandsveränderungen der unmittelbar an den Zuleitungsröhren gelegenen Stellen — der Stromeintrittsstelle und der Stromaustrittsstelle — der intrapolaren Nervenstrecke. 339
§ 2. Von den Widerstandsveränderungen der nicht unmittelbar an den Zuleitungsröhren gelegenen Stellen der intrapolaren Nervenstrecke. 348
§ 3. Von der Verarmung der Stromeintrittsgegend der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit. 362

Kapitel V.

Von den Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke und den inneren Vorgängen in derselben bei anders gearteter Zu- und Ableitung des Stromes.

§ 1. Der Strom tritt an einer Querschnittfläche des Nerven ein oder aus. 363
§ 2. Der Thon der Zuleitungsröhren ist mit anderen Flüssigkeiten getränkt. . 372
§ 3. Freie Flüssigkeiten als Zu- und Ableiter des Stromes. 384
§ 4. Der Nerv als Zu- und Ableiter des Stromes. 390
§ 5. Metalle als Zu- und Ableiter des Stromes. 397

Seite

Kapitel VI.

Von der Flüssigkeitsfortführung und ihren Folgen in den feuchten porösen Körpern und insbesondere im Nerven.

§ 1. Von dem Strömungsvorgange im Nerven und von seinem Einflusse auf den Widerstand der durchströmten Strecke. 412
§ 2. Von der Flüssigkeitsfortführung und ihren Folgen im homogenen feuchten porösen Körper und insbesondere im linear durchströmten Nerven. . . 422
(1.) Was die Anschauung über die Flüssigkeitsfortführung und ihre Folgen im linear durchströmten feuchten porösen Körper ergiebt. . . —
(2.) Thatsächliche Bewährung der Ergebnisse der Anschauung in (1). . 429
(a. Bewährung am Nerven.) 430
(b. Bewährung an anderen feuchten porösen Körpern. Vom sogenannten äusseren secundären Widerstande.) 434
(3.) Von der Flüssigkeitsfortführung und ihren Folgen im alinear durchströmten feuchten porösen Körper. 443
(4.) Von einer unerwarteten accessorischen Widerstandszunahme des alinear durchströmten Nerven. 446
§ 3. Von der Flüssigkeitsfortführung und ihren Folgen im anhomogenen feuchten porösen Körper und insbesondere im alinear durchströmten Nerven. 453
(1.) Was die Anschauung über die Flüssigkeitsfortführung und ihre Folgen im anhomogenen feuchten porösen Körper ergiebt. —
(2.) Thatsächliche Bewährung der Ergebnisse der Anschauung in (1). . 455
(a. Bewährung am Nerven und Muskel.) —
(b. Bewährung an anderen anhomogenen feuchten porösen Körpern. Vom sogenannten inneren secundären Widerstande.) 461
(3.) Was die Anschauung weiter über die Folgen der Anhomogenität des Nerven ergiebt. 468
(4.) Thatsächliche Bewährung der Ergebnisse der Anschauung in (3). . 473
(5.) Schlussbemerkungen. 482

Berichtigungen.

S. 6 Z. 9 v. o. statt »engen« l. »schwach geneigten engen«.
S. 9 Z. 4—5 v. o. statt »Quarzsande« l. »Sande«. Die folgenden Klammern fallen fort.
S. 37 Z. 24 v. o. statt »mir« l. »wir«.
S. 91 Z. 1 v. u. statt »höchstens« l. »höchstens etwa«.
S. 100 Z. 6 v. o. ist »genaue« zu streichen.
S. 117 in Fig. 9 statt »Pg« l. »Bg«.
S. 168 Z. 22 v. o. statt »mm.« l. »sc.«
S. 219 Z. 4 v. u. statt § 7 (5) l. § 7 (3).
S. 324 Z. 11 v. o. statt »Längen-« l. »Längs-«.

Erster Abschnitt.

Einleitung.

Unsere Untersuchungen werden zunächst ausschliesslich die physikalischen Veränderungen betreffen, welche der Nerv unter dem Einflusse des galvanischen Stromes erfährt. Dabei werden wir wiederholt auf die bereits vorliegenden Erfahrungen über die physikalischen Veränderungen, welche in den feuchten porösen Körpern im Allgemeinen und in dem Nerven im Besonderen durch den galvanischen Strom herbeigeführt werden, uns zu beziehen haben, und es empfiehlt sich deshalb, dass wir unserer Untersuchung eine Uebersicht dieser vorliegenden Erfahrungen voraufschicken. So weit es zum Verständniss der Veränderungen der feuchten porösen Körper nöthig ist oder für die Folge uns nützlich sein kann, wollen wir in der Uebersicht auch noch auf das Verhalten der Flüssigkeiten unter der Einwirkung galvanischer Ströme zurückgreifen. Es wird so in der Einleitung die nächste Grundlage der folgenden Untersuchungen dargelegt sein.

Kapitel I.

Uebersicht der physikalischen Veränderungen der feuchten porösen Körper unter dem Einflusse des galvanischen Stromes.

§ 1. Elektrolyse. Polarisation.

(1.[1]) Die Flüssigkeiten werden, indem sie den galvanischen Strom leiten, in ihre näheren Bestandtheile — die Ionen — zerlegt. Diese Zerlegung, die Elektrolyse, geht (wie die Erscheinungen beim Hindurch-

1) *G. Wiedemann.* Die Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus. Braunschweig 1861—3. Bd. I. S. 287 ff. *

leiten des Stromes durch mehrere Flüssigkeiten hinter einander zweifellos lehren) in allen vom Strome durchflossenen Querschnitten der Flüssigkeit vor sich; die Abscheidung der Ionen findet aber nur an den Elektroden, durch welche der Strom in die Flüssigkeit ein- und aus ihr austritt, in Wirklichkeit statt, so dass man annehmen muss, dass zwischen den Elektroden immer je ein Anion oder elektronegativer Bestandtheil eines zersetzten Moleküls der Flüssigkeit auf seiner Wanderung zur positiven Elektrode hin mit je einem in entgegengesetzter Richtung wandernden Kation oder elektropositiven Bestandtheile eines anderen zersetzten Moleküls der Flüssigkeit sich wieder vereinigt. Die Quantitäten der aus der Flüssigkeit an beiden Elektroden abgeschiedenen Ionen stehen im Verhältniss ihrer Aequivalente und sind der Stromdichte — d. h. dem Quotienten aus dem Querschnitte der Flüssigkeit in die Stromintensität — wie auch der Stromdauer, also der Zeit, während welcher der Strom die Flüssigkeit durchfliesst, proportional.

(2.[1]) Mit der Abscheidung der Ionen tritt eine neue, secundäre elektromotorische Kraft an den Elektroden auf, die Polarisation oder die Ladung der Elektroden. Der Polarisationsstrom oder secundäre Strom, der in Folge dessen entsteht, ist in seiner Richtung dem die Flüssigkeit elektrolysirenden oder primären Strome entgegengesetzt und wächst mit der Dichte und der Dauer des primären Stromes zuerst schnell, dann immer langsamer bis zu einem Maximum. Im Schliessungskreise des primären Stromes selbst giebt die Polarisation durch eine entsprechende Verringerung der Intensität des primären Stromes sich zu erkennen; im Schliessungskreise der Elektroden aber mit Ausschluss der Kette, welche die Polarisation hervorgerufen hat, tritt der Polarisationsstrom selbstständig hervor. Der Polarisationsstrom überdauert also den primären Strom, jedoch so, dass seine Intensität vom Augenblicke der Unterbrechung des primären Stromes an zuerst sehr rasch, dann immer langsamer abnimmt.

(3.[2]) Es sind übrigens weniger die an den Elektroden abgeschiedenen Alkalien und Säuren, als vielmehr hauptsächlich die ebenda abgeschiedenen Gase, welche die Polarisation bedingen. Je mehr diese Gase durch ihre chemische Verbindung mit den Elektroden oder der Flüssigkeit selbst oder durch Verringerung des Luftdrucks oder durch Erwärmung der Elektroden oder endlich mechanisch durch Schütteln (oder Drücken[3]) der

1) *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 433 ff.*

2) *Ders.* a. a. O. Bd. I. S. 437—9*; 478—85*; 490—5*; 511—4*.

3) S. noch *H. Wild*, Ueber die Veränderung der elektromotorischen Kräfte zwischen Metallen und Flüssigkeiten durch den Druck. *Poggendorff's* Annalen u.s.w. Bd. 125 (1865). S. 119 ff.*; Mittheilungen der naturforschenden Gesellschaft in Bern aus dem J. 1864. Bern 1864. S. 200 ff.*

Elektroden fortgeschafft werden, desto geringer ist die Intensität des Polarisationsstromes. Auf der mehr oder weniger vollkommenen Beseitigung der abgeschiedenen Gase durch die chemischen Verbindungen, welche sie eingehen, und auf der verschiedenen Condensationsfähigkeit der verschiedenen Metalle für Gase beruht dann auch die verschiedene Ladungsfähigkeit verschiedener Combinationen metallischer Elektroden in Flüssigkeiten. Nach den genauen Untersuchungen *du Bois-Reymond's* ist die von *Matteucci* empfohlene Combination von verquicktem Zink in Zinkvitriol- (oder — weniger gut — Chlorzink-) Lösung durch ihre höchst geringe Polarisirbarkeit, aus noch nicht erkannten Gründen, vor allen anderen Combinationen ausgezeichnet und darf unter den gewöhnlichen Versuchsverhältnissen für unpolarisirbar gelten.

(4.[1]) Nur in seltenen Fällen tritt statt der normalen (negativen) eine anomale (positive) Polarisation auf, die während des Bestehens des ursprünglichen Stromes dessen Intensität vergrössert und nach seiner Unterbrechung einen dem ursprünglichen Strome gleichgerichteten Polarisationsstrom zur Beobachtung kommen lässt. Sie ist, unter gewissen Bedingungen, bei Eisen- und Zink-Elektroden in verschiedenen Flüssigkeiten, einmal auch bei Kupfer-Elektroden in Kupfervitriollösung beobachtet worden. So weit diese anomale Polarisation bereits aufgeklärt ist, ist sie keinesfalls eine unmittelbare Folge der an den Elektroden abgeschiedenen Jonen, sondern durch die in Folge der chemischen Verbindung der Ionen mit den Elektroden herbeigeführte elektromotorische Wirksamkeit dieser letzteren bedingt.

(5.) Die feuchten porösen Körper[2] sind nun zusammengesetzt aus dem festen porösen Gerüste und der in den mit einander communicirenden Hohlräumen des Gerüstes enthaltenen Flüssigkeit. Das feste poröse Gerüst besitzt, wenn es auch öfters im trockenen Zustande schlechtweg für einen Nichtleiter erklärt wird, in der That doch mindestens eine geringe und zwar metallähnliche Leitungsfähigkeit für Elektricität, und die nur dünnen Theilchen des Gerüstes, welche die einzelnen Hohlräume des mit Flüssigkeit gefüllten porösen Körpers begrenzen, leiten alsdann sicher noch wesentlich besser. Es bieten sich demnach dem elektrischen Strome in den

1) *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 508—11 *.

2) *E. du Bois-Reymond*, Ueber die innere Polarisation poröser, mit Elektrolyten getränkter Halbleiter. Monatsberichte der Berliner Akademie d. Wiss. 1856. S. 450 ff. * — *Derselbe*, Ueber die Abhängigkeit der Grösse der secundär-elektromotorischen Wirkung innerlich polarisirbarer Körper von deren Dimensionen. Ebenda 1859. S. 68 ff. — § 1 (5) giebt *du Bois'* Theorie der Stromleitung in den feuchten porösen Körpern, nur unwesentlich verändert, wieder: an *du Bois'* Auffassung des porösen Gerüstes als eines Systemes durchlöcherter Zwischenplatten habe ich mich deshalb nicht genau anschliessen mögen, weil ich die Möglichkeit des Zusammenhanges des festen porösen Gerüstes nicht ausser Acht lassen wollte.

feuchten porösen Körpern stets zwei Wege dar: die durch den ganzen Körper zusammenhängende Flüssigkeit allein und das feste Gerüst mit der Flüssigkeit zwischen seinen Theilchen; manchmal aber auch noch ein dritter Weg: das Gerüst allein, wenn nämlich das feste Gerüst ein zusammenhängendes Ganzes bildet. Und von dem Leitungswiderstande der verschiedenen Wege hängt es dann in bekannter Weise ab, in welcher Stärke einen jeden von ihnen der Strom betritt.

Ist der Leitungswiderstand des zusammenhängenden festen Gerüstes verschwindend klein gegen die Widerstände der beiden anderen Wege, so durchsetzt der Strom im feuchten porösen Körper das Gerüst allein, und die in den Hohlräumen enthaltene Flüssigkeit wird nicht elektrolysirt. Verschwindet hinwiederum der Widerstand der Flüssigkeit gegen den Widerstand des anderen oder der beiden anderen Wege — bei nicht zusammenhängendem resp. zusammenhängendem Gerüste —, so leitet die Flüssigkeit allein den Strom, und ihre Ionen scheiden sich, aber nur an den dem feuchten porösen Körper angelegten Elektroden ab. In allen anderen Fällen — und zwar sind diese weitaus die häufigsten — vertheilt sich der Strom auf alle ihm dargebotenen Wege, und indem er so nicht nur die durch den ganzen porösen Körper hindurch zusammenhängende Flüssigkeit, sondern auch das Gerüst mit der Flüssigkeit zwischen dessen Theilchen durchsetzt, scheiden sich die Ionen nicht nur an den dem porösen Körper angelegten Elektroden ab, sondern auch an allen den Theilchen des Gerüstes, an welchen der Strom aus dem Gerüste in die Flüssigkeit aus- und aus der letzteren in das Gerüst wieder eintritt. Und da ein desto grösserer Stromzweig das Gerüst mit der Flüssigkeit zwischen seinen Theilchen durchfliesst, je grösser der specifische Widerstand der in den Hohlräumen enthaltenen Flüssigkeit ist und je kleiner zwischen den gewissermassen Zwischenplatten vorstellenden Gerüsttheilchen die Oeffnungen sind, durch welche die Hohlräume des Gerüstes mit einander communiciren, wachsen die Quantitäten der an den Theilchen des Gerüstes abgeschiedenen Ionen nicht nur mit der Stromdauer und der Dichte des Stromes im feuchten porösen Körper, sondern auch mit dem specifischen Widerstande der die Hohlräume erfüllenden Flüssigkeit und der Dichte des festen Gerüstes.

(6.[1]) Mit der Abscheidung der Ionen an den Theilchen des Gerüstes tritt dann eine der Polarisation der Elektroden entsprechende secundär-elektromotorische Kraft in der dem primären Strome entgegengesetzten Richtung an allen jenen Theilchen auf, so dass der feuchte poröse Körper in eine Art secundärer Säule aus gleichförmig in seinem Inneren vertheilten elektromotorischen Elementen verwandelt ist. Legt man einem sol-

1) *E. du Bois-Reymond* a. a. O. — *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 497 ff.

chen feuchten porösen Körper an beliebigen Puncten zwischen den beiden Elektroden kurz nach der Unterbrechung des primären Stromes einen unwirksamen leitenden Bogen an, so circulirt in diesem Bogen ein dem primären Strome entgegengesetzt gerichteter Strom der inneren Polarisation, dessen Intensität, die prismatische Gestalt des von Grundfläche zu Grundfläche durchströmten porösen Körpers vorausgesetzt, bei gleicher Spannweite des Bogens und verschiedener Lagerung seiner Fusspuncte zwischen den Elektroden stets die nämliche ist, mit der Spannweite des Bogens aber zunimmt. Die Intensität dieses Polarisationsstromes wächst ferner mit der Dichte und der Dauer des primären Stromes zuerst schnell, dann langsamer bis zu einem Maximum; vom Augenblicke der Unterbrechung des primären Stromes an nimmt sie zuerst sehr rasch, dann langsamer ab; durch die Erwärmung endlich des feuchten porösen Körpers wird sie gleichfalls verringert.

(7.) In den bisher betrachteten Fällen befand sich stets nur eine einzige Flüssigkeit, frei oder die Hohlräume eines porösen Körpers erfüllend, zwischen den Elektroden der Kette. Sind nun aber zwischen die Elektroden mehrere ungleichartige Flüssigkeiten hinter einander, frei in Gefässen oder eine jede in den Hohlräumen eines festen porösen Gerüstes enthalten, eingeschaltet, so scheiden sich an der Grenze der ungleichartigen Flüssigkeiten jedes Mal zugleich die Kationen der Flüssigkeit, aus welcher der Strom austritt, und die Anionen der anderen Flüssigkeit, in welche der Strom eintritt, ab und bleiben, je nach ihrer Natur, frei oder gehen chemische Verbindungen mit einander ein. In Folge dessen tritt auch hier eine secundär-elektromotorische Kraft auf, die Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte[1], die mit der Stärke und der Dauer des primären Stromes zunimmt und nach seiner Unterbrechung abnimmt. Ihre Richtung ist an der Grenze von Kochsalzlösung einerseits und Chlorwasserstoffsäure oder Salpetersäure oder Ammoniak oder Salpeterlösung andererseits dem primären Strome entgegengesetzt, an der Grenze von Kochsalzlösung einerseits und Kalihydratlösung oder Brunnenwasser oder destillirtem Wasser oder Hühnereiweiss andererseits dem primären Strome gleich gefunden worden. Im Ganzen aber ist diese secundär-elektromotorische Kraft immer nur klein und kommt während der Dauer des primären Stromes gar nicht, nach seiner Unterbrechung nur unter günstigen Bedingungen zur Beobachtung. Mit der Polarisation der Elektroden und der inneren Polarisation, wenn eine von diesen oder beide zugleich in demselben Kreise

1) *E. du Bois-Reymond*, Ueber Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte. Monatsberichte der Berliner Akademie der Wissensch. 1856. S. 395 ff. * — *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 495—7 *.

auftreten, summirt sich natürlich die Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte algebraisch.

§ 2. Fortführung der Flüssigkeit. Secundärer Widerstand.

(1.) Sind die Flüssigkeiten in enge Röhren eingeschlossen, so werden sie, indem sie den galvanischen Strom leiten, nicht nur elektrolysirt, sondern auch vom Strome fortbewegt. Man vermuthet, dass in diesem Falle nur ein Theil der Flüssigkeit elektrolytisch, der andere Theil aber metallisch die Elektricität leite.

(2.[1]) So wird die in einem engen Glasrohre befindliche Flüssigkeit von dem sie durchsetzenden galvanischen Strome im Sinne der positiven Elektricitätsströmung fortgeführt, bis schliesslich, in Folge der der Fortführung sich widersetzenden Einflüsse, eine gewisse Verschiebung der Flüssigkeit dauernd sich erhält; nach Unterbrechung des Stromes kehrt dann die Flüssigkeit in ihre frühere Lage zurück.

Die Grösse der Verschiebung ist bei unverändertem Flüssigkeitsfaden proportional der Stromintensität; bei gleicher elektromotorischer Kraft ist sie nahezu umgekehrt proportional dem Quadrate des Röhrenradius, von der Länge der durchströmten Flüssigkeitsstrecke aber unabhängig; bei gleichem Querschnitte der Röhre nimmt sie mit der Grösse der inneren Röhrenoberfläche zu. Bei destillirtem Wasser ist sie grösser als bei reinem absoluten oder nur wenig Wasser enthaltenden Alkohol, und sie nimmt durch Zusatz von Säuren oder Salzen zum destillirten Wasser bedeutend ab. Wiederum ist sie für destillirtes Wasser selbst in einfachen Glasröhren kleiner als in innen mit Schellack, grösser als in innen mit Silber überzogenen Glasröhren.

(3.[2]) Im Wesentlichen dasselbe ist es, wenn durch einen engen Spalt zwischen Glaswandungen, der an einer Stelle die vom Strome durchsetzte Flüssigkeit unterbricht, Flüssigkeit durch den Strom in der Richtung der positiven Elektricitätsströmung aus einem Gefässe in das andere übergeführt wird. Unmittelbar durch den Strom wird nämlich nur die Flüssigkeit im Spalte selbst fortbewegt; natürlich aber muss von der einen Seite her, auf welcher der Strom in die Flüssigkeit eintritt, immer neue Flüssigkeit in den Spalt hinein nachdringen, während die Flüssigkeit auf der anderen Seite des Spaltes durch die aus dem Spalte austretende Flüssigkeit vermehrt wird, und so hat eine scheinbare Fortbewegung der ganzen Flüssig-

1) *G. Quincke*, Ueber die Fortführung materieller Theilchen durch strömende Elektricität. *Poggendorff's* Annalen der Physik und Chemie. Bd. 113 (1861). S. 513 ff. * — *Wiedemann* a. a. O. Bd. II. S. 1080 ff. *

2) *Quincke* a. a. O. S. 550—4 *.

keit durch den Strom in der Richtung des positiven Stromes Statt. Die übergeführte Flüssigkeitsmenge ist der Stromdauer und der elektromotorischen Kraft proportional und nimmt mit der Enge des Spaltes zu; von der Breite des Spaltes scheint sie unabhängig zu sein.

(4.) Die Ueberführung geht aber auch vor sich, wenn die durchströmte Flüssigkeit durch einen porösen Körper statt des Spaltes an einer Stelle unterbrochen ist[1]. Und in der That sind ja im porösen Körper in den zwischen den Gerüsttheilchen befindlichen Lücken, durch welche die Hohlräume des Gerüstes mit einander communiciren, eine Unzahl enger Spalten oder enger kurzer Röhrchen mit Wandungen von der Substanz des festen Gerüstes gegeben. In diesen Röhrchen wird die Flüssigkeit durch den Strom fortbewegt, und neue Flüssigkeit aus den benachbarten und zwar der positiven Elektrode näher gelegenen Hohlräumen des porösen Körpers, schliesslich aber auch von der freien Flüssigkeit auf der Seite des porösen Körpers, auf welcher der Strom in die Flüssigkeit eintritt, muss in die Röhrchen hinein nachrücken; so dass als Endresultat auch hier wiederum eine scheinbare Fortbewegung der ganzen Flüssigkeit durch den Strom im Sinne der positiven Elektricitätsströmung sich ergiebt.

Die Gesetze dieser Ueberführung sind an Diaphragmen von gebranntem Thone ermittelt[2]. Die übergeführte Flüssigkeitsmenge ist der Stromdauer und der Stromintensität proportional und unter sonst gleichen Bedingungen von der Oberfläche und der Dicke der Thonwand unabhängig; bei verschieden concentrirten Salzlösungen ist sie innerhalb gewisser enger Grenzen der Concentration nahezu umgekehrt proportional. Die Druckhöhe, bis zu welcher die Flüssigkeit durch den Strom ansteigt, ist der Stromintensität und der Dicke der Thonwand proportional, der Oberfläche der Thonwand umgekehrt proportional; bei verschieden concentrirten Salzlösungen ist sie innerhalb gewisser Grenzen den specifischen Widerständen der Lösungen proportional. Bei einem einfachen Thondiaphragma ist übrigens die übergeführte Wassermenge unter sonst gleichen Umständen grösser als bei einem platinirten Thondiaphragma[3].

(5.[4]) Nur bei einem mit organischen Substanzen verunreinigten, wenig Wasser enthaltenden Alkohol ist bisher eine Fortbewegung in der Glasröhre und Ueberführung durch das Thondiaphragma durch den Strom in der Richtung der negativen Elektricitätsströmung beobachtet worden: die

1) Entdeckung von *Reuss* (1807). — Die Literatur s. bei *Quincke* a. a. O. S. 513—4*.

2) *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 377 ff.* — Die Originalarbeiten von *Wiedemann* s. in *Poggendorff's* Annalen u. s. w. Bd. 87 (1852). S. 321 ff.* und Bd. 99 (1856) S. 177 ff.*

3) *Quincke* a. a. O. S. 547—9*.

4) *Ders.* a. a. O. S. 557—65*.

Gesetze der Fortbewegung resp. Ueberführung waren dieselben wie bei den entsprechenden Vorgängen in normaler Richtung[1].

(6.) Die Fortbewegung der Flüssigkeit in den engen Röhrchen des mit Flüssigkeit erfüllten porösen Körpers und die Ueberführung von Flüssigkeit durch den Strom werden nun offenbar auch dann statthaben, wenn im Schliessungskreise der Kette zu beiden Seiten des feuchten porösen Körpers frei oder in den Hohlräumen eines festen porösen Gerüstes enthalten eine Flüssigkeit sich befindet, welche der die Hohlräume des feuchten porösen Körpers erfüllenden Flüssigkeit ungleichartig ist: allein es ist leicht zu übersehen, dass dann auch die Fortführung der Flüssigkeit weniger regelmässig erfolgen wird. Genau ermittelt sind die Vorgänge in diesen Fällen bisher noch nicht: was wir über sie wissen, erstreckt sich auf die folgenden Veränderungen, welche der feuchte poröse Körper bei der Durchströmung erfährt.

(7.[2]) Sehr häufig nimmt in diesen Fällen der Leitungswiderstand des feuchten porösen Körpers unter dem Einflusse des Stromes zu. Der secundäre — durch den Strom erzeugte — Widerstand wächst mit der Dauer des Stromes bis zu einem Maximum; nach der Unterbrechung des Stromes nimmt er ab, noch rascher aber wird er durch den Strom in entgegengesetzter Richtung verringert, der freilich sodann seinerseits wieder zu secundärem Widerstande Anlass wird.

Den secundären Widerstand zeigen Seife zwischen Kupfervitriollösung und folgende Körper zwischen Fliesspapierbäuschen, welche mit der eben genannten Flüssigkeit getränkt sind: Kreide und Bimsstein, lange in destillirtem Wasser gesotten; Schwefelblumen und Quarzsand, mit Wasser — der Quarzsand auch mit verdünnter Schwefelsäure — zu einem Brei angerührt und in Röhren gestopft; hartgesottenes Eiweiss; Blutkuchen und geschlagener Faserstoff von Rinderblut; Speckhaut von Pferdeblut; (unter gewissen Bedingungen) erstarrter Leim; Prismen aus Kartoffeln, Aepfeln, Birnen und anderen organisirten Pflanzentheilen geschnitten; gesottene Hölzer; Fliesspapierbäusche mit destillirtem oder Brunnen-Wasser, verdünnter Schwefelsäure oder Salpetersäure oder auch mit neutraler

1) Es ist bemerkenswerth, dass auch Terpenthinöl, bei welchem seiner geringen Leitungsfähigkeit halber eine Fortbewegung durch den galvanischen Strom sich nicht hat beobachten lassen, durch den Entladungsstrom der Leydener Batterie in Glasröhren resp. Thondiaphragmen in der Richtung der negativen Elektricitätsströmung fortgeführt wird, während in innen mit geschmolzenem Schwefel überzogenen Glasröhren resp. Schwefeldiaphragmen die Fortbewegung des Terpenthinöls in der normalen Richtung der positiven Elektricitätsströmung statthat.

2) *E. du Bois-Reymond*, Ueber den secundären Widerstand, ein durch den Strom bewirktes Widerstandsphänomen an feuchten porösen Körpern. Monatsberichte der Berliner Akademie der Wissensch. 1860. S. 846 ff.* — *Wiedemann* a. a. O. Bd. II. S. 1089 ff.*

chromsaurer Kalilösung getränkt; endlich die verschiedenen thierischen Gewebe. Dagegen kommt zwischen den nämlichen Bäuschen secundärer Widerstand nicht zur Beobachtung an Stäben von Modellirthon, an geschlemmtem und mit destillirtem Wasser zu einem Brei angerührten Quarzsande (wie er in der Porzellan-Manufactur gebraucht wird), endlich an Fliesspapierbäuschen, die mit der gesättigten Lösung von Zinkvitriol, schwefelsaurem Natron, Alaun, Chlornatrium, Chlorammonium, Quecksilberchlorid oder käuflicher Kalihydratlösung getränkt sind.

Was das hartgesottene Eiweiss betrifft, so nimmt es secundären Widerstand auch an, wenn die Fliesspapierbäusche, statt mit Kupfervitriollösung, mit den gesättigten Lösungen von Zinkvitriol, salpetersaurem Silberoxyd, neutralem essigsaurem Bleioxyd, Chlorzink oder Alaun, ferner mit verdünnter Schwefelsäure oder Salpetersäure getränkt sind. Dagegen tritt secundärer Widerstand beim Eiweiss nicht auf, wenn die Tränkung der Bäusche mit gesättigter oder verdünnter Chlornatriumlösung, mit den gesättigten Lösungen von Chlorammonium, Chlorcalcium, Quecksilberchlorid, schwefelsaurem Natron, neutralem oder doppelt chromsaurem Kali, ferner mit Kalihydratlösung, Brunnenwasser, absolutem oder verdünntem Alkohol oder endlich mit Essigsäure stattgefunden hat. Zwischen freien Flüssigkeiten verhält sich übrigens das hartgesottene Eiweiss hinsichts des secundären Widerstandes jedes Mal ebenso, wie zwischen den mit derselben Flüssigkeit getränkten Fliesspapierbäuschen.

Auch flüssiges Eiweiss in einer Glasröhre nimmt zwischen gesättigter Kupfer- oder Zinkvitriollösung, nicht aber zwischen Kochsalzlösung, secundären Widerstand an [1].

(8. [2]) In den meisten Fällen ist der secundäre Widerstand nur ein äusserer, sein Sitz nämlich ausschiesslich auf das Eintrittsende d. h. den Theil des feuchten porösen Körpers beschränkt, wo der Strom eintritt: mit der Entfernung dieses Eintrittsendes ist dann der secundäre Widerstand beseitigt. Stücke Kartoffel, Mohrrübe, Petersilienwurzel, Begoniastiel, Apfel, Birne zeigen jedoch auch inneren secundären Widerstand, indem bei diesen Körpern in jedem Längenabschnitte derselben eine Widerstandszunahme durch den Strom herbeigeführt wird. Durch Kochen in siedendem Wasser lässt sich der Kartoffel und dem Begoniastiel die Fähigkeit, inneren secundären Widerstand anzunehmen, entziehen.

Der äussere secundäre Widerstand wächst mit der Stromdauer, der

1) Der secundäre Widerstand des flüssigen Eiweisses ist ein äusserer (s. oben § 2 [8]) und hat seinen Sitz in einem in der Glasröhre zuerst am Eintrittsende sich bildenden und mit der Stromdauer fortschreitenden Gerinnsel. — *E. du Bois-Reymond* a. a. O. S. 879—80*.

2) *E. du Bois-Reymond* a. a. O. S. 855—74*; 889—94*.

Stromintensität und der Verkleinerung der Berührungsfläche zwischer dem feuchten porösen Körper und der stromzuführenden Flüssigkeit resp. Bausche, mit der Dichte also des Stromes an der Eintrittsstelle desselben in den feuchten porösen Körper. Der innere secundäre Widerstand nimmt mit der Stromdauer und der Stromdichte im feuchten porösen Körper zu: und zwar erfolgt diese Zunahme, ebenso wie die Abnahme nach der Unterbrechung des Stromes oder der Umkehrung der Stromrichtung, in allen Querschnitten des feuchten porösen Körpers gleichmässig, so dass eine Abstufung des inneren secundären Widerstandes von dem einen Ende des Körpers zum anderen hin nicht bemerkbar wird. Von der Richtung des Stromes im feuchten porösen Körper scheint der innere secundäre Widerstand unabhängig zu sein.

(9.[1]) Noch andere Veränderungen kommen an den durchströmten feuchten porösen Körpern zur Beobachtung, Veränderungen vornehmlich ihres Ein- und Austrittsendes.

Das Eintrittsende eines zwischen Bäuschen von Grundfläche zu Grundfläche durchströmten Eiweisscylinders zeigt sich sehr häufig nahe der Eintrittsfläche nach Art einer Rakete eingeschnürt, und zwar ist die Würgung desto tiefer und desto mehr in der Richtung des Stromes vorgerückt, je länger der Strom eingewirkt hat: die Strecke von der Grundfläche bis zur Würgung fühlt sich sehr fest und derb, die Würgung selbst hart wie Horn an. Waren mit Kupfervitriollösung getränkte Bäusche angewandt, so sieht das Eiweiss zwischen der Eintrittsfläche und der Würgung hellblau, an der Würgung selbst dunkelblaugrün aus, und diese vom Kupfervitriol bedingten Färbungen erstrecken sich, wie Längsschnitte zeigen, mehr oder minder ausgesprochen durch die ganze Masse des Eiweisses. Das Austrittsende des Eiweisscylinders bleibt weich und schwillt — bei Kupfervitriolbäuschen weniger, bei Kochsalzbäuschen mehr — zu einem abgestumpften Kegel an, dessen Grundfläche die Austrittsfläche ist und dessen abgestumpfte Spitze mit dem mittleren unveränderten Theile des Eiweisscylinders verschmilzt. Nach dem Umkehren der Stromrichtung verändert sich das neue Eintrittsende nach Art des früheren Eintrittsendes, das neue Austrittsende nach Art des früheren Austrittsendes, doch wird die vollkommene Ausbildung der Anschwellung an dem jetzigen Austrittsende durch die nicht ganz verschwindende Würgung verhindert.

Aehnlich, wie beim Eiweiss, treten diese Veränderungen bei dem Leim, dem Knorpel, dem Rückenmark, dem Muskelfleisch und anderen feuchten porösen Körpern der Art zwischen Kupfervitriolbäuschen auf. Beim Eiweiss selbst zwischen Bäuschen werden sie, wenn secundärer

1) *E. du Bois-Reymond* a. a. O. S. 874—9*.

Widerstand auftritt, — die mit Höllensteinlösung getränkten Bäusche ausgenommen — stets beobachtet, in vielen Fällen aber, wie z. B. bei Kochsalzbäuschen, auch dann wahrgenommen, wenn secundärer Widerstand nicht eintritt.

(10.[1]) Die eben — in (9.) — geschilderten Veränderungen des feuchten porösen Körpers sind zweifellos eine Folge der Flüssigkeitsfortführung durch den Strom und zwar genauer eine Folge dessen, dass die Flüssigkeiten desto schneller durch den Strom fortbewegt werden, je geringer ihre Leitungsfähigkeit ist. Der schlechter leitenden Flüssigkeit des feuchten porösen Körpers macht auf der einen Seite die besser leitende Flüssigkeit des Austrittsbausches nicht genügend rasch Platz, auf der anderen Seite folgt ihr die ebenfalls besser leitende Flüssigkeit des Eintrittsbausches nicht schnell genug nach: so entsteht die Anschwellung des Austrittsendes und die Einschnürung des Eintrittsendes des feuchten porösen Körpers, und die Würgung zeigt die trockenste, am meisten durch die Fortführung an Flüssigkeit verarmte Stelle des Eintrittsendes an. Indem nun durch schichtweises Abtragen des Eintrittsendes gerade die Würgung als der eigentliche Sitz des äusseren secundären Widerstandes sich herausstellt[2], könnte man weiter glauben, dass in der durch die Flüssigkeitsabnahme bedingten geringeren Leitungsfähigkeit der Würgung der äussere secundäre Widerstand begründet sei, um so mehr, als nach Unterbrechung des Stromes oder Umkehrung der Stromrichtung, wo das trockene Eiweiss der Würgung wieder Flüssigkeit anzieht resp. durch den Strom zugeführt erhält und somit leitungsfähiger wird, auch der secundäre Widerstand abnimmt. Allein diese Theorie des äusseren secundären Widerstandes ist unhaltbar, von anderen Gründen abgesehen, schon der Thatsache gegenüber, dass bei der Höllensteinlösung äusserer secundärer Widerstand ohne die Würgung, bei anderen Flüssigkeiten wiederum, wie z. B. Kochsalzlösung, die Würgung ohne äusseren secundären Widerstand auftritt. Eine tiefere Einsicht in die Natur des äusseren wie des inneren secundären Widerstandes ist zur Zeit noch nicht gewonnen.

(11.[3]) Fehlt jede Flüssigkeit zu den Seiten des feuchten porösen Körpers, und sind die metallischen Elektroden dem Körper unmittelbar angelagert, so tritt am hartgesottenen Eiweiss zwischen Platin-Elektroden und an Kupfer- oder Zinkvitriolbäuschen zwischen Kupfer- resp. Zink-Elektroden ebenfalls secundärer Widerstand auf; der Eiweisscylinder zeigt dabei gleichfalls die kegelförmige Anschwellung am Austrittsende, allein nicht

1) *E. du Bois-Reymond* a. a. O. S. 883—9*; 894—6*.

2) *Ders.* a. a. O. S. 876*.

3) *Ders.* a. a. O. S. 880—3*; 887*.

die Würgung am Eintrittsende, das nur härter als vor der Durchströmung sich anfühlt. Zwischen Zink- und Kupfer-Elektroden verändert sich der Widerstand des Eiweisscylinders in unregelmässigerer Weise. Durch die Austrocknung der an die Anode grenzenden Schicht des feuchten porösen Körpers in Folge der Flüssigkeitsfortführung lassen sich die Erscheinungen nicht vollkommen erklären.

§ 3. Erwärmung.

(1.[1]) Endlich werden die flüssigen wie die festen Körper, indem sie den galvanischen Strom leiten, auch erwärmt: und zwar ist die durch den Strom in einem solchen Körper erzeugte Wärmemenge der Stromdauer, dem Quadrate der Stromintensität und dem Leitungswiderstande des Körpers proportional.

(2.) Wie hiernach zu erwarten, erfährt die Temperatur auch der feuchten porösen Körper unter dem Einflusse des Stromes eine Zunahme, und diese Zunahme ist dem grösseren Leitungswiderstande der Körper gemäss sogar grösser als bei den entsprechenden freien Flüssigkeiten. So nimmt ein mit Wasser benetzter Docht eine höhere Temperatur an als ein mit Wasser gefülltes Glasrohr von der Dicke des Dochtes, und ein inmitten einer Wasserschicht befindliches poröses Diaphragma wird stärker erwärmt als das zu den Seiten befindliche Wasser[2].

(3.[3]) Entwickeln sich in einer durchströmten freien Flüssigkeit in Folge der Elektrolyse Gase an den Elektroden, so ist die Temperatur der Flüssigkeit an den Elektroden niedriger als zwischen denselben.

(4.[4]) Zwischen dem Ein- und dem Austrittsende eines durchströmten feuchten porösen Körpers scheint öfters ein Temperatur-Unterschied zu Gunsten des Eintrittsendes zu bestehen.

1) *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 616 ff.*.

2) *Ders.* a. a. O. Bd. I. S. 631*.

3) *Ders.* ebenda.

4) *E. du Bois-Reymond*, Ueber den secundären Widerstand u. s. w., a. a. O. S. 876*; 889*.

Kapitel II.

Uebersicht der physikalischen Veränderungen des Nerven unter dem Einflusse des galvanischen Stromes.

§ 1. Elektrolyse. Polarisation.

Der Nerv ist innerlich polarisirbar[1] (s. Kap. I. § 1 [6]). *Du Bois-Reymond*, der diese Eigenschaft des Nerven aufgefunden, hat auch weitere Mittheilungen über dieselbe sich vorbehalten. Ohne diesen Mittheilungen weiter vorzugreifen, müssen wir bemerken, was für uns in der Folge zu wissen durchaus nothwendig ist, dass die innere Polarisation des Nerven den von *du Bois-Reymond* für die innere Polarisation feuchter poröser Körper im Allgemeinen aufgefundenen Gesetzen (s. o. a. a. O.) folgt.

Der Nerv ist also ein feuchter poröser Körper, in welchem nicht nur die durch den ganzen Nerven hindurch zusammenhängende Nervenflüssigkeit, sondern auch das feste poröse Nervengerüst mit der Flüssigkeit zwischen seinen Theilchen den galvanischen Strom leitet (s. o. Kap. I. §. 1 [5]), so dass die Jonen der Nervenflüssigkeit nicht nur an den dem Nerven angelegten Elektroden, sondern auch an allen den Theilchen des Nervengerüstes, an welchen der Strom aus dem Gerüste in die Flüssigkeit aus- und aus der letzteren in das Gerüst wieder eintritt, abgeschieden werden.

§ 2. Fortführung der Flüssigkeit. Secundärer Widerstand.

Ueber das Verhalten des Leitungswiderstandes des Nerven unter dem Einflusse des galvanischen Stromes liegen Untersuchungen von *du Bois-Reymond*[2] vor, deren Ergebnisse sich in Folgendem zusammenfassen lassen.

Inneren secundären Widerstand (s. o. Kap. I. § 2 [8]) nimmt der Nerv nie in merklichem Grade an. Für den äusseren secundären Widerstand (s. o. ebds.) aber ist bei Strömen von einiger Stärke der Nerv empfänglich, wenn nicht den Strom unmittelbar ihm zuführen und von ihm fortführen poröse Körper, die mit einer derjenigen Flüssigkeiten, welche oben im Kap. I. § 2 [7] als unfähig angegeben sind, in Berührung mit Eiweiss secundären Widerstand zu erzeugen, getränkt sind. Bei einer in dieser

1) *E. du Bois-Reymond*, Ueber die innere Polarisation u. s. w., a. a. O. S. 457*.

2) *Ders.*, Ueber den secundären Widerstand u. s. w., a. a. O. S. 892—4*; 898—901*.

letzteren Weise gearteten Zu- und Ableitung des Stromes bleibt, selbst bei einer ganzen Anzahl *Grove*'scher Glieder im Kreise und bei noch so langer Dauer der Schliessung, die Stromstärke im Schliessungskreise des Nerven — von der inneren Polarisation und der thermischen (s. u. § 3) Verminderung des Widerstandes abgesehen — beständig, nimmt also der Widerstand des Nerven unter dem Einflusse des Stromes nicht zu. Der Strom einer einfachen Kette oder zweier *Grove*'scher Glieder lässt secundären Widerstand selbst dann nicht auftreten, wenn poröse Körper, welche mit Kupfer- oder Zinkvitriollösung getränkt sind, den Strom dem Nerven zu- und von ihm fortführen, indem der secundäre Widerstand zu seiner Entstehung grösserer Stromstärken bedarf[1].

Bei dem Mangel einer tieferen Einsicht in die Natur des secundären Widerstandes (s. o. Kap. I. § 2 [10]) lässt sich aus diesen Erfahrungen vor der Hand Nichts weiter entnehmen, als dass nur unter gewissen Umständen — bei ausreichender Stromstärke und bei Zuleitung des Stromes unmittelbar durch Metalle oder mit gewissen Flüssigkeiten getränkte poröse Körper — die Fortführung der Flüssigkeit durch den Strom auch den Leitungswiderstand des Nerven und zwar seines Stromeintrittsendes eine Zunahme erfahren lässt.

§ 3. Erwärmung.

Da sämmtliche untersuchten Körper, die festen wie die flüssigen wie die gewissermassen in der Mitte zwischen beiden stehenden feuchten porösen Körper, indem sie den galvanischen Strom leiten, erwärmt werden, so ist auch die Erwärmung des durchströmten Nerven, obwohl sie experimentell unmittelbar noch nicht festgestellt ist, ausser allem Zweifel.

§ 4[2]. Veränderung der elektromotorischen Eigenschaften des lebenden Nerven. Elektrotonischer Zustand des Nerven.

(1.) Die bisher in den §§ 1—3. aufgeführten Veränderungen des Nerven unter dem Einflusse des galvanischen Stromes betreffen den Nerven, gleichviel ob er lebend oder todt ist. Dagegen ist die Veränderung der

1) *E. du Bois-Reymond* a. a. O. S. 897—9*. — *Ders.*, Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken. Abhandlungen der physikalisch-mathematischen Klasse der Berliner Akad. der Wissensch. 1862. S. 93*.

2) *Ders.*, Untersuchungen über thierische Elektricität. Berlin 1849. Bd. II. Abth. I. S. 289 ff.* — *C. Ludwig*, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. 2. Aufl. Leipzig 1858. Bd. I. S. 98 ff.*

elektromotorischen Eigenschaften des Nerven durch den Strom, welche wir nunmehr zu betrachten haben, nur dem lebenden Nerven eigen, indem der Besitz des Nervenstromes an das Leben des Nerven geknüpft ist.

(2.) Der von einer Strecke des Nerven abgeleitete Nervenstrom erfährt, wenn irgend eine andere Strecke des Nerven vom galvanischen Strome durchflossen wird, einen Zuwachs — den elektrotonischen Zuwachs —, der stets jenem galvanischen Strome gleich gerichtet ist: so dass, wenn der »erregende« galvanische Strom in der »erregten« Nervenstrecke gleiche Richtung hat mit dem Nervenstrome in der »abgeleiteten« Nervenstrecke, anscheinend Vergrösserung, hingegen, wenn beide Ströme im Nerven entgegengesetzt gerichtet sind, anscheinend Verkleinerung oder selbst Umkehrung des Nervenstromes statthat.

Den durch den galvanischen Strom herbeigeführten veränderten Zustand des Nerven hinsichts seiner elektromotorischen Kräfte nennt man den elektrotonischen Zustand des Nerven, und man sagt von der abgeleiteten Strecke eines im elektrotonischen Zustande befindlichen Nerven, sie sei in der positiven Phase dieses Zustandes, wenn sie Vermehrung —, sie sei in der negativen Phase desselben Zustandes, wenn sie Verminderung ihres (ursprünglichen) Nervenstromes zeigt.

Es beginnt der elektrotonische Zustand des Nerven mit dem Eintritte des erregenden Stromes in die erregte Nervenstrecke; er dauert an, so lange der erregende Strom die errregte Nervenstrecke durchfliesst und der Nerv lebend ist; er verschwindet sowohl mit der Oeffnung des erregenden Stromes wie mit dem Tode des Nerven.

Die beiden Phasen des elektrotonischen Zustandes sind am Nerven zu beiden Seiten des erregenden Stromes stets complementär; es ist aber eine jede Phase von der Länge der Nervenstrecke, welche sich in der anderen Phase befindet, unabhängig.

(3.) Je grösser die Leistungsfähigkeit des Nerven, desto grösser ist der elektrotonische Zuwachs. Die Grösse dieses Zuwachses ist ferner bis zu einer gewissen Grenze der Stromdichte in der erregten Strecke proportional und wächst dann langsamer als die Stromdichte. Endlich wächst die Grösse des Zuwachses auch mit der Länge der erregten Strecke.

Mit der Entfernung von den Elektroden des erregenden Stromes nimmt die Grösse des elektrotonischen Zuwachses immer mehr ab; und zwar ist höchst wahrscheinlich die Curve des Zuwachses, bezogen auf den Nerven als Abscissenaxe, auf jeder Seite des erregenden Stromes von der Elektrode aus gegen die Abscissenaxe stark convex gebogen und schliesst sich dieser in der Ferne asymptotisch an. In der positiven Phase ist unter sonst gleichen Umständen der Zuwachs stets, wenn auch nur wenig, grösser als in der negativen Phase: wahrscheinlich ist die Elektro-

denordinate jener Curve des Zuwachses auf der Seite der negativen Phase kleiner, und die Curve fällt hier auch im Ganzen steiler ab, als auf der Seite der positiven Phase.

An dickeren Nerven treten alle Erscheinungen des elektrotonischen Zustandes stärker hervor als an dünneren.

(4.) Der elektrotonische Zustand des Nerven tritt nicht ein, wenn der erregende galvanische Strom den Nerven quer durchfliesst.

Zweiter Abschnitt.

Untersuchung der vom galvanischen Strome durchflossenen Nervenstrecke.

Vorbemerkungen.

Der Ermittelung der Vorgänge, welche in der vom galvanischen Strome durchflossenen — intrapolaren — Nervenstrecke statthaben, wollen wir die Untersuchung des Leitungswiderstandes dieser Strecke zu Grunde legen. Die bisherigen Erfahrungen über das Verhalten des Leitungswiderstandes des Nerven unter dem Einflusse des galvanischen Stromes sind bereits oben im Abschnitt I. Kap. II. § 2. aufgeführt. Ueberblicken wir nunmehr, was sonst noch über den Leitungswiderstand des Nerven überhaupt bisher bekannt geworden ist.

Am häufigsten und bis auf die neuere Zeit sogar ausschliesslich sind die Bemühungen dahin gerichtet gewesen, das Verhältniss festzustellen, in welchem der specifische Leitungswiderstand des Nerven zum specifischen Leitungswiderstande, sei es der Metalle und Flüssigkeiten, sei es anderer thierischer Gewebe steht[1]. Es hat sich herausgestellt, einmal dass der specifische Widerstand des Nerven etwa dem einer wässerigen Salzlösung von solchem Salzgehalte, wie ihn der Nerv besitzt, entspricht, also kleiner ist als der specifische Widerstand von destillirtem Wasser, aber viel grösser als der der Metalle; und sodann dass der specifische Widerstand des Nerven nicht erheblich abweicht von dem specifischen Widerstande der Sehne, des Knorpels und des lebenden Muskels.

1) Die ältere Literatur s. in *E. du Bois-Reymond's* Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 233 - 7 *; 245—6 *; Abth. II. S. 189—91 *. — *C. Eckhard*, Ueber den galvanischen Leitungswiderstand der thierischen Gewebe. Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Bd. I. Giessen 1858. S. 57 ff. * — *E. Harless*, Molekuläre Vorgänge in der Nervensubstanz. I. Abhandlung. Abhandlungen der mathem.-physikal. Klasse der Bayer. Akad. der Wissensch. Bd. VIII. Abth. 2. S. 333 ff. * (Neurophysiologische Forschungen. Zürich 1860. S. 16 *.) — *G. J. Ranke*, Der galvanische Leitungswiderstand des lebenden Muskels. (Habilitationsschrift.) Ansbach 1862. S. 42—7 *; 55—6*. (*J. Ranke*, Tetanus. Leipzig 1865. S. 42—7 *.)

Erst in neuerer Zeit hat man dem specifischen Widerstande des Nerven hin und wieder auch in Bezug auf die Verhältnisse am und im Nerven selbst die Aufmerksamkeit zugewandt. Die Erfahrungen, welche man in dieser Richtung gesammelt hat, sind, wenn wir den schon behandelten Fall der Einwirkung des galvanischen Stromes auf den Nerven ausser Acht lassen, folgende:

1. Der specifische Widerstand des Nerven ist von der Richtung, in welcher der Nerv vom galvanischen Strome durchflossen wird, unabhängig[1].
2. Der specifische Widerstand des Nerven ist an verschiedenen Stellen seiner Länge nicht verschieden[2].
3. Das Absterben bleibt beim Nerven durchaus ohne nachweisbaren Einfluss auf den Leitungswiderstand[3].
4. Der Leitungswiderstand des Nerven ändert sich gar nicht[4] oder nur sehr wenig[5], wenn man die natürliche Constitution des Nerven (des Nervenmarks) durch mechanische Eingriffe stört.
5. Während des Bewegung vermittelnden Vorganges im Nerven bleibt der specifische Widerstand des Nerven beständig[6].
6. Mit der Zeit der Quellung des Nerven in destillirtem Wasser wächst der specifische Leitungswiderstand desselben in arithmetischer Progression an[7].

Nach diesen Erfahrungen können die Aussichten für unser Vorhaben, selbst wenn wir von den bisherigen Erfolgen derjenigen Untersuchungen, welche den Leitungswiderstand des durchströmten Nerven selbst zum Gegenstande hatten, ganz absehen, nur höchst ungünstig sich darstellen. Denn wenn nicht nur der Bewegung vermittelnde Vorgang im Nerven, sondern auch das Absterben des Nerven an dessen Leitungswiderstande spurlos vorübergeht und wenn sogar von der mechanischen Desorganisation

1) *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 378—9*.

2) *E. Pflüger*, Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus. Berlin 1859. S. 144—5*; 149—50*.

3) *Ranke*, Der galvanische Leitungswiderstand u. s. w. S. 35—7*; 51*; 56*. (Tetanus. S. 38—9*; 77*.) — Vgl. noch: *Harless*, Neurophysiologische Forschungen. S. 18*.

4) *M. Person*, Sur l'hypothèse des courans électriques dans les nerfs. Journal de Physiolog. expér. et pathol.; par *F. Magendie* T. X. (Année 1830) p. 224*. (Durch die Güte des Herrn *E. du Bois-Reymond* konnte ich eine Abschrift des Aufsatzes einsehen.)

5) *F. A. Longet*, Anatomie et Physiologie du système nerveux etc. Paris 1842. T. I. p. 138*. (Uebersetzt von *J. A. Hein*. Leipzig 1847. Bd. I. S. 123*.) — Vgl. *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 233*.

6) *E. du Bois-Reymond* a. a. O. Bd. II. Abth. I. S. 444—6*.

7) *E. Harless*, Molekuläre Vorgänge in der Nervensubstanz. IV. Abhandlung. Abhandlungen der mathem.-physik. Klasse der Bayerischen Akad. d. Wissensch. Bd. IX. Abth. 1. S. 40—61*; — Münchener Gelehrte Anzeigen. Bd. 47. No. 72. (27. December 1858.)*; — Neurophysiologische Forschungen. S. 20*.

des Nervenmarkes der Leitungswiderstand des Nerven gar nicht oder wenigstens kaum Kunde giebt, dann sind offenbar von diesem Leitungswiderstande wesentliche und genaue Aufschlüsse über die inneren Vorgänge im Nerven auch für unseren Fall nicht zu erwarten. In der That aber ist es der Folge vorbehalten, den Leitungswiderstand des Nerven gerade als ein sehr empfindliches Reagens der inneren Vorgänge im Nerven kennen zu lehren, und unsere Erfolge werden, so günstig wir sie nur wünschen können, sich gestalten.

Kapitel I.

Methode.

§ 1. Methode der Widerstandsuntersuchung.

Zur Bestimmung des Leitungswiderstandes der durchströmten Nervenstrecke wollen wir uns der im Princip von *Wheatstone* angegebenen Methode[1] bedienen, und wir treffen zu dem Zwecke die in Fig. 1. dargestellte Versuchsanordnung.

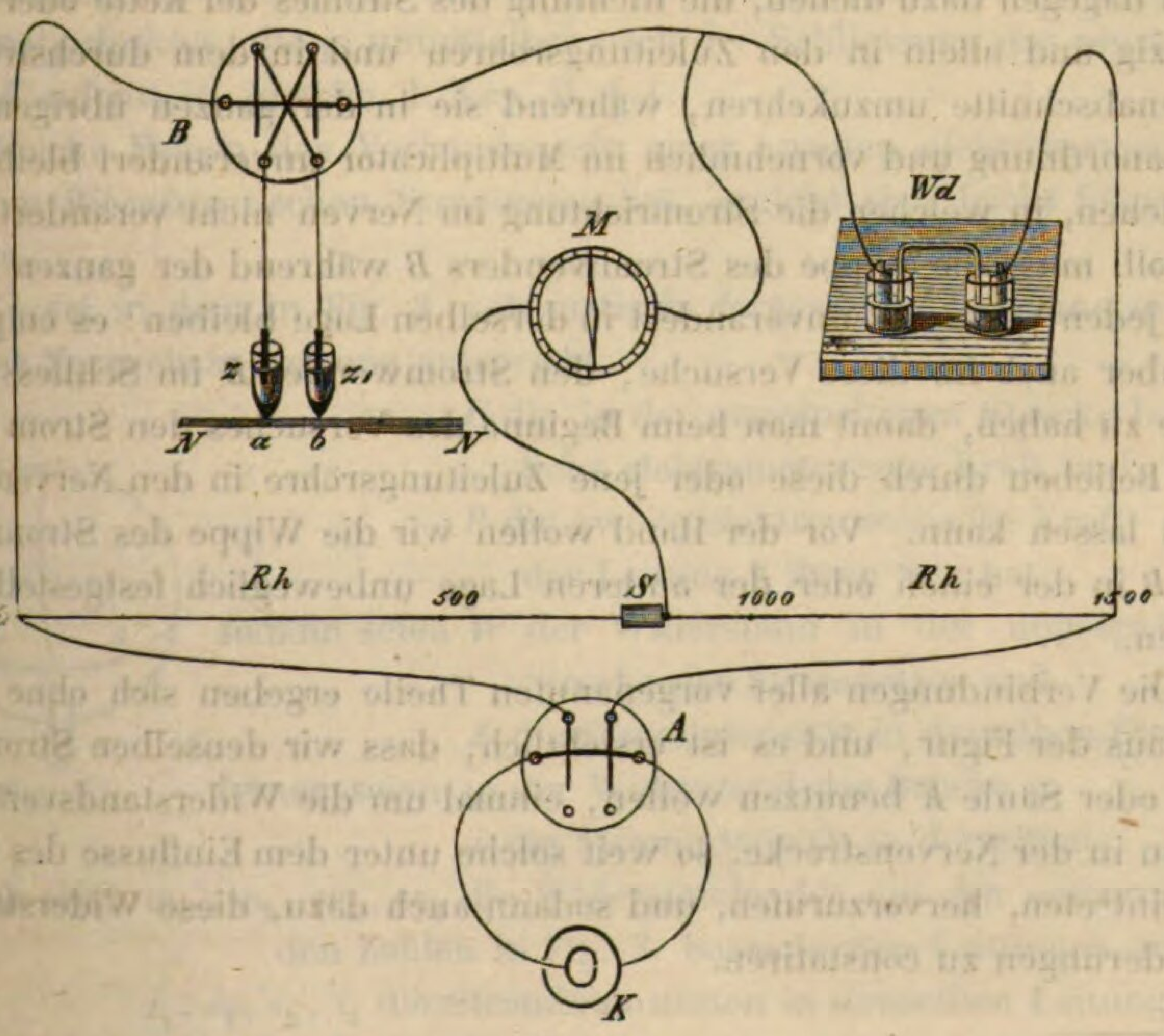


Fig. 1.

1) *Wheatstone*, Philos. Transact. etc. For the Year 1843. Part. II. p. 323*; *Poggendorff's* Annalen u. s. w. Bd. 62 (1844). S. 535 ff.* — *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 164 ff.*

K ist die constante Kette oder Säule, *M* der Multiplicator, *ab* die zwischen den unpolarisirbaren Zuleitungsröhren (z, z_1) dem galvanischen Strome ausgesetzte Strecke des Nerven *N*, *Wd* der Vergleichswiderstand.

Rh ist ein einsaitiger Platinrheostat, dessen zwischen Klemmen ausgespannter feiner Platindraht von 1500^{mm} Länge und 0,3^{mm} Durchmesser der mit einer Theilung versehenen Holzleiste unmittelbar aufliegt. Auf dem Drahte verschiebbar ist der hölzerne, mit Blei ausgegossene Schieber[1] *S*, an dessen einer kurzen Seite eine an ihrem unteren Ende mit einer Platinkante und oben mit einer Klemmschraube versehene Kupferplatte vertikal befestigt ist.

Endlich sind *A* und *B* zwei an den Tisch geschraubte *Pohl*'sche Stromwender, deren Wippen sich um feste Axen drehen. Den Stromwender *A*, dessen Kreuz herausgenommen ist, wollen wir anwenden, um den Kreis der Kette oder Säule *K* durch Umlegen der Wippe zu schliessen oder zu öffnen: indem so bei der Oeffnung statt einer einfachen eine doppelte Unterbrechung des Säulenkreises hergestellt wird, sind die Störungen[2], welche bei der Verbindung des einen Endes eines empfindlichen Multiplicators mit einem Ende der Säule auftreten, sicher verhütet. Der zweite Stromwender *B* soll dagegen dazu dienen, die Richtung des Stromes der Kette oder Säule *K* einzig und allein in den Zuleitungsröhren und in dem durchströmten Nervenabschnitte umzukehren, während sie in der ganzen übrigen Versuchsanordnung und vornehmlich im Multiplicator unverändert bleibt. In Versuchen, in welchen die Stromrichtung im Nerven nicht verändert werden soll, muss die Wippe des Stromwenders *B* während der ganzen Dauer eines jeden Versuches unverändert in derselben Lage bleiben: es empfiehlt sich aber auch für diese Versuche, den Stromwender *B* im Schliessungskreise zu haben, damit man beim Beginne des Versuches den Strom leicht nach Belieben durch diese oder jene Zuleitungsröhre in den Nerven eintreten lassen kann. Vor der Hand wollen wir die Wippe des Stromwenders *B* in der einen oder der anderen Lage unbeweglich festgestellt uns denken.

Die Verbindungen aller vorgenannten Theile ergeben sich ohne Weiteres aus der Figur, und es ist ersichtlich, dass wir denselben Strom der Kette oder Säule *K* benutzen wollen, einmal um die Widerstandsveränderungen in der Nervenstrecke, so weit solche unter dem Einflusse des Stromes eintreten, hervorzurufen, und sodann auch dazu, diese Widerstandsveränderungen zu constatiren.

1) Der Schieber ist nach *Kirchhoff's* Angabe [*Poggendorff's* Annalen u. s. w. Bd. 100 (1857). S. 180. Taf. III. Fig. 5*] construirt.

2) *E. du Bois-Reymond,* Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 496 ff.*

Im *Wheatstone*'schen Stromnetze, das schematisch Fig. 2. darstellt, ist bekanntlich, wenn in der ungespaltenen Strecke und nur in dieser eine elektromotorische Kraft E thätig ist, der Strom in der die beiden Zweige der gespaltenen Strecke verbindenden Brücke = Null, wenn $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$, wo w_1, w_2, w_3, w_4 die Widerstände der Leitungen 1, 2, 3, 4 bedeuten[1]. Daher kann man den unbekannten Widerstand einer einzelnen Leitung der gespaltenen Strecke des Stromnetzes, wenn man durch die Veränderungen des Widerstandes einer oder zweier anderer Leitungen derselben Strecke die Brücke stromlos zu machen im Stande ist, dann aus den bekannten Widerständen der drei anderen Leitungen der gespaltenen Strecke bestimmen.

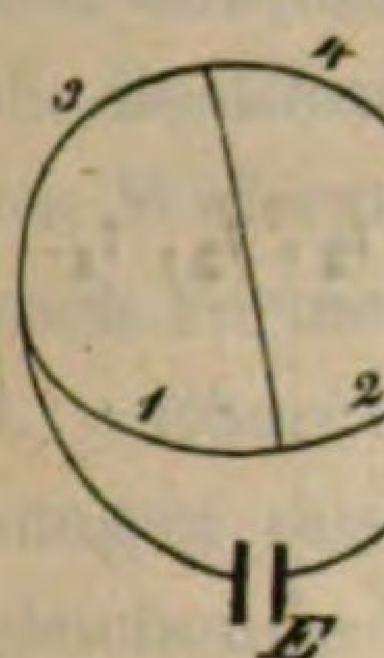


Fig. 2.

In unserem Falle aber haben wir es nicht ausschliesslich mit einer elektromotorischen Kraft in der ungespaltenen Strecke des *Wheatstone*'schen Stromnetzes zu thun, sondern es kommt in derjenigen Leitung der gespaltenen Strecke, in welcher der Nervenabschnitt sich befindet, eine zweite elektromotorische Kraft noch hinzu. Es ist dies die innere Polarisation des Nervenabschnittes, die ja unmittelbar nach der Schliessung der constanten Kette K auftritt (s. Abschn. I. Kap. II. § 1.).

Welche Folgen das Vorhandensein einer zweiten elektromotorischen Kraft im *Wheatstone*'schen Stromnetze hat, ergiebt sich leicht folgendermassen.

Es sei in dem in Fig. 3. schematisch dargestellten Stromnetze, das unserer Versuchsanordnung entspricht,



Fig. 3.

E die in der ungespaltenen Strecke befindliche elektromotorische Kraft und

P die zweite elektromotorische Kraft, die in der Leitung 3 ihren Sitz hat;

sodann seien W der Widerstand in der ungespaltenen Strecke des Stromnetzes und

J die Stromintensität in derselben Strecke;

ferner seien w der Widerstand der Brücke u.

i die Stromintensität in derselben;

endlich seien w_1, w_2, w_3, w_4 die Widerstände der mit den entsprechenden Zahlen in Fig. 3. bezeichneten Leitungen und

i_1, i_2, i_3, i_4 die Stromintensitäten in denselben Leitungen;

so ist nach den *Kirchhoff*'schen Formeln:

1) *G. Kirchhoff*, Ueber den Durchgang eines elektrischen Stromes u. s. w. *Poggendorff's* Annalen u. s. w. Bd. 64 (1845). S. 512 ff. * — *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 137 *.

$$J = i_1 + i_3 = i_2 + i_4\,,$$
$$i = i_3 - i_4 = i_2 - i_1\,,$$
$$\pm P = i_3 w_3 + iw - i_1 w_1\,,$$
$$iw = i_4 w_4 - i_2 w_2.$$

Aus diesen Gleichungen ergiebt sich nach Elimination von i_1, i_2, i_3, i_4:

$$i = \frac{J(w_1 w_4 - w_2 w_3) \pm P(w_2 + w_4)}{w(w_1 + w_2 + w_3 + w_4) + (w_1 + w_3)(w_2 + w_4)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (^1)$$

Ist nun $i = 0$, so ist

$$w_2 w_3 - w_1 w_4 = \frac{\pm P}{J}(w_2 + w_4)\,, \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (^2)$$

und zwar ist P und somit auch die rechte Seite der Gleichung (^{2}) positiv, wenn P und E gleich gerichtet sind, negativ hingegen, wenn P und E entgegengesetzt gerichtet sind.

Das Vorhandensein einer zweiten elektromotorischen Kraft im *Wheatstone*'schen Stromnetze und zwar in einer Leitung der gespaltenen Strecke desselben hat also zur Folge, dass $w_2 w_3 - w_1 w_4$, wenn die Brücke stromlos gemacht ist, doch nicht Null ist, sondern einen endlichen Werth hat; und man kann nunmehr den unbekannten Widerstand einer der vier Leitungen der gespaltenen Strecke des Stromnetzes aus den bekannten Widerständen der drei anderen Leitungen dieser Strecke nur mit Hülfe von P und J berechnen.

Sind in die beiden Strecken des Stromnetzes, in welchen die elektromotorischen Kräfte sich befinden, Tangentenbussolen aufgenommen, so ist, nachdem im Stromnetze $i = 0$ gemacht ist, J einfach durch Ablesung an der in die ungespaltene Strecke aufgenommenen Tangentenbussole zu bestimmen. Sodann bringt man in der ungespaltenen Strecke und in der Brücke des Stromnetzes Unterbrechungen an, so dass man nur noch die elektromotorische Kraft P im Schliessungskreise der Leitungen 1, 2, 3 und 4 wirksam hat, und bestimmt die Stromintensität Π in diesem Kreise an der zweiten, in der Leitung 3 befindlichen Tangentenbussole. Es ist dann

$$P = \Pi(w_1 + w_2 + w_3 + w_4). \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (^3)$$

Substituirt man den Werth P aus Gleichung (^{3}) in Gleichung (^{2}), so erhält man

$$w_2 w_3 - w_1 w_4 = \pm \frac{\Pi}{J}(w_1 + w_2 + w_3 + w_4)(w_2 + w_4)\,, \; . \; . \; . \quad (^4)$$

und die Berechnung des unbekannten Widerstandes einer der vier Leitungen der gespaltenen Strecke des Stromnetzes bietet nunmehr weiter keine Schwierigkeiten.

Dabei ist aber die Constanz der elektromotorischen Kraft P vorausgesetzt, und diese Voraussetzung trifft für den Fall unserer Untersuchung nicht zu, indem die innere Polarisation nach der Schliessung des primären

Stromes, so lange sie nicht ihr Maximum erreicht hat, mit der Dauer des Stromes zunimmt und nach der Oeffnung des primären Stromes mit der Zeit abnimmt. In einem solchen Falle der Inconstanz von P wird jedenfalls die Bestimmung von Π fehlerhaft sein, und die Berechnung des unbekannten Widerstandes einer Leitung der gespaltenen Strecke des Stromnetzes nach Formel ([4]) wird demnach immer nur eine ungenaue sein können.

Eben dieser Ungenauigkeit wegen empfiehlt sich, wo es sich um Messungen des specifischen Widerstandes der Nervensubstanz oder um vergleichende Widerstandsmessungen an Nervenabschnitten, ohne dass diese vorher vom Strome durchflossen sein müssen, handelt, ein anderes und einfacheres Verfahren. Man schliesst nämlich die constante Kette K in der ungespaltenen Strecke des *Wheatstone*'schen Stromnetzes, das in einer Leitung seiner gespaltenen Strecke den Nervenabschnitt enthält, immer nur momentan und verändert in den Zwischenzeiten der Schliessungen die veränderlichen Widerstände der gespaltenen Strecke so lange, bis einmal während der ersten kurzen Zeit nach der Schliessung die Nadel des in der Brücke befindlichen Multiplicators auf Null stehen bleibt. Sind die Zwischenzeiten der Schliessungen nicht zu kurz gewesen, so dass die während der momentanen Schliessungen aufgetretene innere Polarisation Zeit gehabt hat, sich zu zerstreuen; hat man überdies, um diese Polarisation noch sicherer zu beseitigen, die Richtung des Stromes im Nervenabschnitte bei jeder neuen Schliessung umgekehrt, so kann man die innere Polarisation jetzt ganz vernachlässigen und aus den Widerständen der drei anderen Leitungen der gespaltenen Strecke des Stromnetzes den Widerstand des Nervenabschnittes ohne Weiteres bestimmen. Beiläufig bemerkt, stellt diese Methode der Widerstandsmessung in den vorhin angegebenen Fällen auch aus anderen Gründen — nach den Ergebnissen der folgenden Untersuchungen nämlich — als die allein brauchbare sich heraus.

Natürlich aber fällt dieses Auskunftsmittel fort, wo es uns um die Widerstandsveränderungen des Nerven gerade unter dem Einflusse des Stromes zu thun ist: hier müssen wir uns mit den ungenauen Bestimmungen nach Formel ([4]) zufrieden geben. Allein wenn denn doch einmal eine vollkommene Genauigkeit uns versagt ist, so geben wir die umständlichen und verwickelten Messungen mit Hülfe von Π und J lieber ganz auf und studiren die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke — wie sich herausstellen wird, mit aller vor der Hand nur wünschenswerthen Genauigkeit — auf folgende einfachere und bequemere Weise.

Zwei Leitungen der gespaltenen Strecke des *Wheatstone*'schen Stromnetzes werden in unserer Anordnung gebildet von den beiden durch den Schieber abgegrenzten Drahtabschnitten des Platinrheostaten, und durch Verstellung des Schiebers lässt sich das Verhältniss ihrer Widerstände, das

unmittelbar durch ihre Längen gegeben ist, nicht nur mit grosser Feinheit, sondern auch mit grosser Geschwindigkeit abändern. Wir geben nun nach der Schliessung der Kette *K* dem Schieber schleunigst eine solche Stellung, dass die Nadel des Multiplicators auf Null einsteht, und begegnen, wenn während der Durchströmung der Nervenstrecke die Nadel abgelenkt wird, dieser Ablenkung sofort und unausgesetzt durch Veränderung der Schieberstellung, so dass wir die Nadel auf dem Nullpuncte halten. Dann sind aus dem Unterschiede der ursprünglichen und der schliesslichen Schieberstellung die Veränderungen zu entnehmen, welche der Widerstand der durchströmten Nervenstrecke in der Zwischenzeit der beiden Schieberstellungen erfahren hat, sobald nur der durch die innere Polarisation bedingte Fehler sich eliminiren lässt.

Es ist aber klar und ergiebt sich sogleich auch aus unserer Gleichung (1), dass unsere schliessliche Schieberstellung von derjenigen schliesslichen Schieberstellung, welche bei Nichtvorhandensein der Polarisation erhalten worden wäre, gerade um so viel abweichen muss, als erforderlich ist, damit schliesslich in der Brücke ein Zweigstrom der Kette *K* fliesst von genau derselben Intensität wie der schliesslich in der Brücke fliessende Polarisationsstrom, aber von entgegengesetzter Richtung, so dass beide Ströme eben sich aufheben: und wir können daher den durch die innere Polarisation bedingten Fehler eliminiren, sobald einmal die Empfindlichkeit unserer Anordnung und sodann auch die Ablenkung der Nadel des Multiplicators durch den schliesslich in der Brücke fliessenden Polarisationsstrom uns bekannt sind.

Die Empfindlichkeit unserer Anordnung bestimmen wir nun, ehe wir die Durchströmung der Nervenstrecke beenden, dadurch, dass wir den Schieber um 5—10—20^{mm} von derjenigen Stellung desselben, bei welcher die Nadel eben auf Null einstand, entfernen und die in Folge dessen eintretende constante Ablenkung der Nadel ihrer Grösse und Richtung nach beobachten. Sobald dies geschehen, bringen wir die Nadel des Multiplicators durch Verstellung des Schiebers wieder auf den Nullpunct zurück, halten sie noch eine Weile auf dem Nullpuncte und brechen dann durch Oeffnen der Kette *K* den Versuch ab: in Folge der inneren Polarisation verlässt die Nadel sofort den Nullpunct, und die Richtung und die Grösse ihres ersten Ausschlages werden beobachtet. Diesen Ausschlag nehmen wir jetzt an Stelle der constanten Ablenkung der Nadel durch den Polarisationsstrom, der zur Zeit der Oeffnung der Kette *K* bei der schliesslichen Schieberstellung in der Brücke floss, und bestimmen mit Hülfe der gefundenen Empfindlichkeit unserer Anordnung, welche Veränderung der Schieberstellung der Grösse und der Richtung nach von der inneren Polarisation am Ende des Versuches herbeigeführt war: die nach Abzug dieser

Veränderung übrig bleibende Veränderung der ursprünglichen Schieberstellung giebt uns alsdann die Veränderungen an, welche der Widerstand des Nervenabschnittes in Wahrheit unter dem Einflusse des Stromes erfahren hat.

Das Verfahren bedarf einer Rechtfertigung nur insofern, als wir den ersten Ausschlag der Nadel nach der Oeffnung der Kette *K* für die constante Ablenkung der Nadel durch den Polarisationsstrom nehmen wollen. Die constante Ablenkung, welche einige Zeit nach der Oeffnung von *K* eintritt, zu benutzen, geht deshalb nicht an, weil die innere Polarisation nach der Oeffnung von *K* sehr rasch mit der Zeit abnimmt und demgemäss jene constante Ablenkung durch einen Polarisationsstrom herbeigeführt wird, der wesentlich kleiner als der zur Zeit der Oeffnung von *K* bestehende ist. Richtiger würde schon, da der erste Ausschlag der Nadel bei unserer Anordnung, wo bei dem Umlegen der Wippe *A* die Oeffnung des primären Stromes mit der Schliessung des secundären Stromes unmittelbar zusammenfällt, unter der Wirkung des Polarisationsstromes in seiner vollen Stärke, wie er sie zur Zeit der Oeffnung von *K* besitzt, erfolgt, die Hälfte dieses Ausschlages die constante Ablenkung der Nadel durch den zur Zeit der Oeffnung von *K* bestehenden Polarisationsstrom angeben. Indessen würde hier wiederum die Dämpfung[1] durch die Windungen des Multiplicators, die Compensation im Multiplicator und bei grösseren Ausschlägen auch der Umstand, dass der Multiplicator nicht graduirt ist, Fehler bedingen, indem sie den ersten Ausschlag zu klein erscheinen lassen: Fehler, welche nur vielleicht dadurch compensirt werden, dass in Folge der Unterbrechung der durch den Ketten-Zweig gebildeten Nebenschliessung zum Platinrheostaten der durch die Brücke fliessende Polarisationsstrom etwas zu gross ist. Als von besonderer Bedeutung kommt aber noch hinzu, dass schon in Folge der sofortigen und gerade anfangs sehr raschen Abnahme der inneren Polarisation nach der Oeffnung von *K* der erste Ausschlag der Nadel zu klein sich darstellen muss. Da es uns nun nur darauf ankommt, den Einfluss der inneren Polarisation sicher zu eliminiren, so vermeiden wir alle Fehler ganz gewiss, wenn wir in dem einzelnen Falle entweder den ersten Ausschlag der Nadel oder die Hälfte dieses Ausschlages für die constante Ablenkung der Nadel nehmen und dabei in der Wahl uns von dem Gesichtspuncte leiten lassen, dass der Einfluss der Polarisation in den Versuchen möglichst gross und möglichst zu Ungunsten der Widerstandsveränderungen erscheinen soll. Gerade von diesem Gesichtspuncte aus werden wir in der Regel den ersten Ausschlag der Nadel benutzen müssen.

1) *E. du Bois-Reymond*, Beschreibung einiger Vorrichtungen u. s. w., a. a. O. S. 80 ff.*

Man übersieht, dass in dem eben Abgehandelten eine Schwäche unseres Verfahrens aufgedeckt ist, welche es unbrauchbar macht, sobald es um eine Widerstandsveränderung von nur solcher Grösse sich handelt, dass die durch sie herbeigeführte Schieberverstellung innerhalb der Fehler fällt, welche wir bei der Bestimmung der durch den Polarisationsstrom bedingten Schieberverstellung begehen können. In einem solchen Falle kann auch die Widerstandsmessung nach Formel (4) in Folge der Fehler bei der Bestimmung von Π zu keinem Ergebnisse führen. Glücklicherweise werden wir aber bei unseren Untersuchungen unter der erkannten Schwäche unseres Verfahrens nicht zu leiden haben wegen der Grösse der Widerstandsveränderungen, welche zu constatiren sein werden.

Uebrigens ist unser Verfahren noch einer Vereinfachung fähig der Art, dass man nicht nöthig hat, bei der Prüfung der Empfindlichkeit der Anordnung auf die Richtung, in welcher die Nadel abgelenkt wird, zu achten und danach die Richtung, in welcher eine Veränderung der Schieberstellung durch die innere Polarisation herbeigeführt ist, zu bestimmen. Nach Formel (2) ist nämlich, wenn man auch in dem Falle, dass in einer Leitung der gespaltenen Strecke des Stromnetzes eine zweite elektromotorische Kraft P auftritt, nachdem $i = O$ gemacht ist, mit Vernachlässigung von P

$$w_3 = \frac{w_1 w_4}{w_2}$$

setzt, dieses w_3 zu klein, wenn E und P gleich gerichtet, zu gross, wenn E und P entgegengesetzt gerichtet sind[1]. Danach berechnet man mit Hülfe der gefundenen Empfindlichkeit der Anordnung nur die Grösse der Schieberverstellung, welche durch die innere Polarisation herbeigeführt ist, und verändert die schliessliche Schieberstellung des Versuches um diese Grösse so, dass w_3 im Falle gleicher Richtung von E und P grösser, im Falle entgegengesetzter Richtung von E und P kleiner als bei der schliesslichen Schieberstellung wird.

Es bleibt uns übrig, zuzusehen, wie wir innerhalb unserer Methode unseren Widerstandsbestimmungen noch eine möglichst grosse Genauigkeit ertheilen können.

Die allgemeine Theorie der Widerstandsbestimmung nach der *Wheatstone*'schen Methode verlangt, um die Bestimmung möglichst genau zu machen, dass der Widerstand der Brücke möglichst klein und die Stromintensität J in der ungespaltenen Strecke des Stromnetzes möglichst gross

1) Nur ein anderer Ausdruck hierfür ist, wie wir ihn später vielfach gebrauchen werden, dass die zweite elektromotorische Kraft P, wenn sie E gleich gerichtet ist, eine scheinbare Widerstandsverringerung, wenn sie E entgegengesetzt gerichtet ist, eine scheinbare Widerstandsvermehrung bedingt.

sei. In unserem Falle, wo in einer Leitung der gespaltenen Strecke eine zweite elektromotorische Kraft P auftritt, ist, um den durch P bedingten Fehler möglichst klein zu machen d. h. die Differenz $w_2 w_3 - w_1 w_4$ in der Formel (²) der Null möglichst zu nähern, ferner noch erforderlich, dass sowohl die zweite elektromotorische Kraft, wie auch der Gesammtwiderstand der beiden auf einer und derselben Seite der Brücke befindlichen Leitungen der gespaltenen Strecke, welche die elektromotorische Kraft nicht enthalten, möglichst klein seien. Diesen Anforderungen kommen wir insofern ohne Weiteres nach, als wir die neben dem Multiplicator in der Brücke und neben der constanten Kette oder Säule in der ungespaltenen Strecke befindlichen Widerstände möglichst klein machen: im Uebrigen aber sind wir durch mancherlei Umstände verhindert, sie unbedingt zu erfüllen.

Da die innere Polarisation mit der Intensität des primären Stromes, jedoch nur bis zu einem Maximum wächst, müssten wir, um den Anforderungen in Betreff J und P zugleich zu genügen, die Stromintensität in der ungespaltenen Strecke nicht nur möglichst gross, sondern auch jedenfalls so gross machen, dass dem Zweigstrome, welcher die den Nervenabschnitt enthaltende Leitung durchfliesst, eine viel grössere Intensität zukäme, als zur Hervorrufung des Maximums der inneren Polarisation des Nervenabschnittes erforderlich ist. Danach werden wir aber in der Regel nicht verfahren können wegen der grossen Abhängigkeit, in welcher die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke von der Intensität des diese durchsetzenden Stromes stehen: wir werden vielmehr die Stromintensität in der ungespaltenen Strecke meist klein halten müssen.

Und was sodann den Gesammtwiderstand betrifft der beiden auf einer und derselben Seite der Brücke befindlichen Leitungen der gespaltenen Strecke, welche die zweite elektromotorische Kraft nicht enthalten, so kann es sich bei unserer Versuchsanordnung nur um den Vergleichswiderstand *Wd* handeln: diesem müssen wir aber, um mit dem Schieber *S* in den empfindlicheren Breiten des Platinrheostaten, in dessen mittlerem Theile oder wenigstens diesem nahe, bleiben zu können, eine bestimmte Grösse ertheilen. Nur in einem verhältnissmässig sehr kleinen Theile der Versuche habe ich als Vergleichswiderstand 99 Meilen Telegraphendraht des *Siemens*'schen Rheostaten[1] benutzt, dabei aber auch mit mehreren — in der Regel acht — in ein Bündel zusammengelegten Nerven zugleich arbeiten müssen. In allen meinen übrigen Versuchen habe ich, um an einem einzelnen Nerven experimentiren zu können, als Vergleichswiderstand eine

1) *W. Siemens, Poggendorff's* Annalen u. s. w. Bd. 102 (1857). S. 57. Taf. I. Fig. 4*.

mit concentrirter Zinkvitriollösung gefüllte Capillarröhre von c. 3000 Meilen Telegraphendraht Widerstand angewandt.

§ 2. Hülfsmittel der Untersuchung.

(1.) Als Elektromotoren dienten bei den Versuchen *Daniell*'sche Elemente von mittlerer Grösse und der jetzt allgemein gebräuchlichen Construction[1] und daneben noch *Grove*'sche Elemente der kleineren Art, wie sie für physiologische Zwecke von *du Bois-Reymond* angegeben sind[2]. So weit nicht besondere Rücksichten die Anwendung *Grove*'scher Elemente erheischten, habe ich den *Daniell*'schen Elementen den Vorzug gegeben, um nur mit der rauchenden Salpetersäure Nichts zu schaffen zu haben. Nach meinen Erfahrungen erweisen sich auch, wenn ein feuchter Leiter im Schliessungskreise der Kette sich befindet, die *Daniell*'schen Elemente etwa ebenso constant[3] wie die (kleinen) *Grove*'schen; und in rein metallischen Schliessungskreisen von geringem Widerstande — dieser Fall liegt bei unseren Versuchen meist vor, da eine metallische Nebenschliessung zum Nerven angebracht ist — sind bei längerer Schliessung die (kleinen) *Grove's* sogar viel empfindlicher inconstant als die *Daniell's*. Diese letzteren müssen freilich von guter Beschaffenheit sein: ihr Zinkcylinder muss gut verquickt sein; ihre Kupfervitriollösung muss concentrirt sein und durch eine Schicht von Kupfervitriolstücken, welche den Boden des Glases bedeckt, concentrirt erhalten werden; endlich muss das Niveau der Kupfervitriollösung niedriger sein als das der Schwefelsäure. Die Schwefelsäure, welche in meinen *Daniell*'schen und *Grove*'schen Elementen das Zink umspülte, war eine Mischung von käuflicher Schwefelsäure mit 19 Theilen Brunnenwasser dem Volumen nach. Der Thoncylinder der *Grove's* war mit rauchender Salpetersäure gefüllt.

(2.) Multiplicatoren[4] habe ich im Anfange der Untersuchungen verschiedene benutzt: *du Bois-Reymond's* Multiplicator[4] für den Nervenstrom von 24160 Windungen, einen anderen Multiplicator von 28460 Windungen, endlich einen dritten von nur 9000 Windungen. Die beiden Windungsreihen der beiden ersteren Multiplicatoren waren stets neben, nicht hinter einander eingeschaltet, und die meist zu grosse Empfindlichkeit der Apparate war durch eine Nebenschliessung von Neusilber- oder Kupfer-

1) *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 259*.

2) *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 446*. — Vgl. *E. Pflüger*, Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus. Berlin 1859. S. 95 ff.*

3) Wir haben hier nur die Abnahme der Stromintensität im Auge und sehen von der anfänglichen Zunahme derselben ab.

4) *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 477 ff.*

draht von geeigneter Länge passend abgestumpft. Später habe ich als stromprüfendes Instrument an Stelle des Multiplicators ausschliesslich

(3.) eine *Wiedemann*'sche Spiegelbussole[1] angewandt[2]. Von den beiden verschiebbaren Rollen derselben hatte die eine 4000 und darüber nochmals 4000 Windungen, die andere entsprechend 4000 und 4600 Windungen des für Multiplicatoren gebräuchlichen ganz feinen Kupferdrahtes: je nachdem eine grössere oder geringere Empfindlichkeit des Apparates wünschenswerth erschien, waren mehr oder weniger Windungsreihen hinter oder neben einander in die Brücke eingeschaltet. Die Richtkraft des Spiegels war durch einen unter dem Apparate in passender Weise verschiebbar angebrachten Magnetstab geschwächt. Die in 1000 Millimeter getheilte Scale hatte den Nullstrich in der Mitte und war vom Spiegel 2300 Millimeter entfernt.

Bei der Aufstellung und dem Gebrauche von beiderlei galvanometrischen Vorrichtungen waren die Vorschriften und praktischen Regeln wohl befolgt, welche von *du Bois-Reymond* gegeben sind[3]. Indem ich mich auf diese beziehen kann, habe ich nur noch hervorzuheben, was in der Figur 1., um diese nicht zu compliciren, nicht dargestellt ist, dass in der Brücke

(4.) ein *du Bois*'scher Schlüssel[4] stets so angebracht war, dass durch seinen Vorreiber die Windungen des Multiplicators resp. der Bussole in sich geschlossen werden konnten. Es ist dies unumgänglich nothwendig, um ermitteln zu können, ob etwa schon vor dem Beginne der Durchströmung des Nerven eine elektromotorische Kraft in einer der gespaltenen Strecken des Stromnetzes thätig ist; bei der Bussole muss man zudem wegen der Unstetigkeit des Nullpunctes während jeder längeren Durchströmung mit Hülfe des Schlüssels von Zeit zu Zeit sich vergewissern, dass der Nullpunct sich nicht verändert hat, oder doch die stattgehabte Veränderung des Nullpunctes constatiren. An dem Multiplicatorconsol selbst statt der Schraubenklemmen den Schlüssel anzubringen, empfiehlt sich deshalb nicht, weil bei der Bewegung des Vorreibers Erschütterungen des Consols kaum zu vermeiden sind; dass bei Anwendung der Spiegelbussole der Schlüssel dem Beobachter am Fernrohr — ebenso wie die Strom-

1) *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 198 ff.*.

2) Die Entwickelung unseres Versuchsverfahrens, welche in § 1. der Kürze halber für den Multiplicator allein gegeben ist, behält mit den selbstverständlichen Abänderungen im Ausdruck auch für die Bussole volle Gültigkeit. Natürlich fällt hier das Nichtgraduirtsein des Multiplicators als Grund, weshalb die Hälfte des ersten Ausschlages der Nadel nach der Oeffnung von *K* den Polarisationsstrom zu klein erscheinen lassen würde, fort; dafür erlangt aber die Dämpfung durch die Kupferhülse der Bussole nur um so mehr Bedeutung.

3) *E. du Bois-Reymond*, Untersuch. u. s. w. Bd. I. S. 162 ff.*; Bd. II. Abth. I. S. 485 ff.*. — *Ders.*, Beschreibung einiger Vorrichtungen u. s. w., a. a. O. S. 76 ff.*

4) *E. du Bois-Reymond*, Beschreibung einiger Vorrichtungen u. s. w., a. a. O. S. 102 ff.* — *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 278*.

wender *A* und *B* der Fig. 1. — leicht zur Hand sein muss, ist selbstverständlich.

(5.) Ueber die *Pohl*'schen Stromwender und

(6.) über den Platinrheostaten sind alle wesentlichen Angaben bereits im § 1. gemacht. Für die weiterhin mitgetheilten Versuchsbeispiele ist aber noch Folgendes anzumerken. In diesen Beispielen geben die nackt hingestellten Zahlen die Stellung des Schiebers *S* an zu derjenigen Zeit, welche daneben in gleicher Höhe in der Zeitcolumne aufgeführt ist. Für das Verständniss der Versuche ist nun festzuhalten, dass die Zahl 0 der Theilung des Platinrheostaten auf der Seite des Nerven, die Zahl 1500 derselben Theilung auf der Seite des Vergleichswiderstandes sich befand (s. Fig. 1.): so dass das Kleinerwerden der nackt hingestellten Zahlen eine Abnahme, das Grösserwerden derselben Zahlen eine Zunahme des untersuchten Widerstandes anzeigt.

(7.) Der flüssige Vergleichswiderstand, welcher für weitaus die meisten Versuche verwandt wurde (vgl. oben § 1, Schluss), bestand aus einer zweimal rechtwinklig gebogenen und mit concentrirter Zinkvitriollösung gefüllten Capillarröhre, deren Enden in zwei mit der nämlichen Flüssigkeit gefüllte Porzellantröge tauchten; der Flüssigkeit in den Trögen wurde der Strom durch verquickte Zinkplatten, welche an den Trögen festgekittet waren, zugeleitet. Um von der Capillarröhre etwaige jähe Temperaturschwankungen fernzuhalten, waren die Tröge mit der über sie gebrückten Capillarröhre in dem Trockenraume eines Luft–Trockenapparates, der zwischen seinen doppelten Wandungen mit Wasser gefüllt war, oder in einem kleinen und gut schliessenden hölzernen Kasten aufgestellt, zeitweise auch noch dieser Kasten oder der Luft–Trockenapparat, ringsum mit Werg verhüllt, in einen grösseren hölzernen Kasten versenkt; die Drähte, welche die Zinkplatten mit der übrigen Versuchsanordnung in Verbindung setzten, verliefen durch die Kästen in Glasröhren.

Drei solche Widerstandsapparate habe ich bei den Versuchen benutzt: die Länge der Capillarröhre betrug bei zweien von ihnen 145^{mm}, bei dem dritten 168^{mm}, und ihr Widerstand belief sich bei 15—16°R. auf c. 3000, c. 3060, c. 3600 Meilen Telegraphendraht. In der angegebenen Reihenfolge ihrer Widerstände werden die drei Apparate als »Capillarröhre I.«, »Capillarröhre II.« und »Capillarröhre III.« bei den Versuchsbeispielen auseinandergehalten werden.

Vor den sonst angewandten flüssigen Widerständen hat unser Widerstandsapparat den grossen Vorzug, dass die Polarisation der Elektroden bei ihm vermieden ist[1]. Sieht man von kleinen und ganz allmählichen

1) S. oben Abschn. I. Kap. I. § 1 (3).

Schwankungen des Widerstandes in Folge von Temperatur-Veränderungen ab, so lässt der Apparat an Constanz Nichts zu wünschen übrig. In meinem Arbeitszimmer, dessen Temperatur — den Hochsommer ausgenommen — nur innerhalb enger Grenzen schwankt, haben mir die häufig in längeren Zwischenräumen wiederholten Messungen meines Widerstandsapparates immer nur Unterschiede von verhältnissmässig wenigen Meilen Telegraphendraht ergeben, und selbst das Herauskrystallisiren eines grösseren Theiles des Salzes aus der in den Trögen enthaltenen Flüssigkeit, welches hin und wieder in Folge eines schlechten Verschlusses des Behälters eintrat, that der Constanz des Apparates keinen Eintrag — offenbar deshalb, weil gegen den Widerstand der wohlerhaltenen Capillarröhre der Widerstand der übrigen leitenden Theile des Apparates verschwand.

(8.) Den Strom dem Nerven zuzuführen und wiederum von ihm fortzuführen, dienten die von *du Bois-Reymond* angegebenen Zuleitungsröhren mit Thonspitzen[1]. Eine solche Zuleitungsröhre ist eine plattgedrückte, mit concentrirter Zinkvitriollösung gefüllte Glasröhre, welche an ihrem unteren Ende wasserdicht mit Modellirthon verschmiert und mit einer Spitze von demselben Thon versehen ist; in die Zinkvitriollösung taucht bis zu einiger Tiefe ein mit einem Pole der constanten Kette in Verbindung stehender Streifen von amalgamirtem Zinkblech, der durch ein in gewisser Höhe des Streifens angekittetes Korkstück an dem weiteren Herabgleiten in der Glasröhre und somit an der Berührung des Modellirthons verhindert ist; der Modellirthon ist mit einer 1 %igen Kochsalzlösung getränkt und von solcher Consistenz, dass man der Thonspitze der Zuleitungsröhre leicht jede beliebige Gestalt ertheilen kann.

Die grossen Vorzüge dieser Zuleitungsröhren liegen zunächst in der Gleichartigkeit[2] und der Unpolarisirbarkeit[3] der metallischen Elektroden, welche durch die Verwendung von verquicktem Zink in Zinkvitriollösung gesichert sind. Zugleich ist durch die Thonspitzen der Zuleitungsröhren, im Falle es sich um die Untersuchung des lebenden Nerven handelt, dem grossen Uebelstande vorgebeugt, dass die concentrirte Zinkvitriollösung, wenn sie mit dem Nerven in Berührung kommt, diesen beträchtlich angreift oder gar tödtet. Weiter ist durch die Tränkung des Modellirthons mit der Kochsalzlösung auch das Auftreten des secundären Widerstandes am Nerven verhütet[4]. Endlich kommt zu allem Diesem noch hinzu, dass die Knet-

1) *E. du Bois-Reymond*, Beschreibung u. s. w., a. a. O. S. 96 ff.*

2) *Ders.*, Ueber nicht polarisirbare Elektroden. Monatsberichte der Berliner Akademie der Wissensch. 1859. S. 443 ff.*

3) Vgl. oben Abschn. I. Kap. I. § 1 (3).

4) Vgl. o. Abschn. I. Kap. II. § 2. — *E. du Bois-Reymond,* Beschreibung u. s. w., a. a. O. S. 94*.

barkeit der Thonspitze die Möglichkeit gewährt, die Zuleitungsröhre in jeder beliebigen Weise, wie es gerade wünschenswerth ist, mit den thierischen Theilen in Berührung zu bringen.

Um die Diffusion der concentrirten Zinkvitriollösung mit der verdünnten Kochsalzlösung zu verzögern, hat *du Bois-Reymond* noch empfohlen, einen mit der Zinklösung getränkten Fliesspapierpfropf von unten her in die Röhre zu schieben[1] oder besser die untere Mündung der Röhre mit Thon, der mit der Zinklösung angeknetet ist, zu verschmieren[2], bevor man die Spitze der Zuleitungsröhre von dem mit Kochsalzlösung angekneteten Thon herstellt. Die Verzögerung der Diffusion würde allerdings von grosser Bedeutung sein, wenn durch die Verunreinigung der Zinklösung die Gleichartigkeit oder die Unpolarisirbarkeit der metallischen Elektroden Schaden nähme. Allein einmal habe ich Zuleitungsröhren mit Thonspitzen, nach den vorhin gemachten Angaben hergerichtet, bis 72 Stunden im feuchten Raume stehen sehen, ohne dass ihre Gleichartigkeit sich veränderte; und was sodann die Polarisation betrifft, so tritt bei den Zuleitungsröhren trotz der Unpolarisirbarkeit der metallischen Elektroden in Folge der inneren Polarisirbarkeit des Thons doch eine, wenngleich geringe Polarisation auf, und ich habe die Polarisation nicht merklich verschieden gefunden, wenn der Strom eben erst oder schon vor längerer Zeit hergerichtete Zuleitungsröhren durchfloss. Deshalb und weil bei dem ersten von *du Bois-Reymond* empfohlenen Verfahren die Verzögerung der Diffusion, wofern man nicht unverhältnissmässig viele Zeit und Mühe für die Herstellung des Fliesspapierpfropfes aufwenden will, gewiss nicht eine wesentliche ist, bei dem zweiten Verfahren aber wiederum es oft sehr schwer hält, eine gute Verbindung der beiden Thonschichten, die für den absoluten Widerstand der Zuleitungsröhren bedeutungsvoll ist, herzustellen, endlich auch weil ein möglichst wenig complicirter Bau der Zuleitungsröhren in mehrfacher Hinsicht sehr erwünscht ist, habe ich keines der beiden in Rede stehenden Verfahren in Anwendung gezogen.

Meine Zuleitungsröhren entbehrten des von *du Bois-Reymond* beschriebenen Statives[3] mit seinen trefflichen mechanischen Einrichtungen; statt dessen waren sie, wohl isolirt, auf einem einfach aus Glas und Kork gebauten Stative, das jede wünschenswerthe Verstellung der Zuleitungsröhren zuliess, angebracht. Dies Stativ mit den Zuleitungsröhren und dem auf die später zu beschreibende Weise über die letzteren gebrückten Nerven befand sich stets in

1) *E. du Bois-Reymond,* Beschreibung u. s. w., a. a. O. S. 97*.

2) *Ders.,* Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w. *Reichert's* und *du Bois-Reymond's* Archiv für Anatomie und Physiologie, 1863. S. 545. Anm. *

3) *Ders.,* Beschreibung u. s. w., a. a. O. S. 96*.

(9.) der feuchten Kammer[1], deren Innenraum durch feuchtes Fliesspapier, welches an mehreren Wänden der Kammer ausgebreitet war, und durch mehrere poröse Thontröge als Alcarazzas mit Wasserdampf erfüllt gehalten wurde; die den Strom den Zuleitungsröhren zuführenden Drähte verliefen unterhalb des Grundbrettes der feuchten Kammer und durch die Dicke dieses Brettes hindurch in langen, rechtwinklig gebogenen Glasröhren.

(10.) Die Versuche sind sämmtlich an dem Ischiadnerven von Rana esculenta angestellt und zwar theils an dem in seiner ganzen Länge von den Lendenwirbeln bis zur Kniekehle ausgeschnittenen Nerven, theils an kleineren Stücken des Nerven. Oft war auch der Unterschenkel in unversehrter Verbindung mit dem Nerven erhalten, so dass das dem Thiere entnommene Präparat der »stromprüfende Froschschenkel«[2] war.

Die augenblicklich vorliegende Erfahrung (s. o. Vorbemerkungen), dass die mechanische Desorganisation des Nervenmarkes von gar keinem oder wenigstens nur sehr geringem Einflusse auf den Widerstand des Nerven ist, — eine Erfahrung, welche wir erst an einer späteren Stelle als irrthümlich werden kennen lernen — macht es nöthig, was sich eigentlich von selbst versteht, noch ausdrücklich hervorzuheben, dass nämlich der Nerv hier ebensowenig, wie im Falle physiologischer Versuche, bei der Präparation gezerrt oder sonst irgendwie misshandelt werden darf. Ausserdem verdient aber bei der Präparation noch besondere Beachtung, dass der Nerv von anhängendem Bindegewebe und Gefässen für unsere Versuche vollkommen frei sein muss.

(11.) Bei der Benutzung des stromprüfenden Froschschenkels lagen Unterschenkel und Fuss auf dem allgemeinen Träger[3], der neben den Zuleitungsröhren passend aufgestellt war. Damit der Schenkel bei seinen Zuckungen von der Glasplatte des Trägers nicht herabgleite und auch nicht die Verbindung des Nerven mit der Thonspitze der benachbarten Zuleitungsröhre aufhebe oder doch störe, muss der Schenkel wenigstens an zwei Stellen, am Fussgelenk und in oder an der Kniekehle, an der Glasplatte befestigt sein. Statt der früheren Befestigung durch Fäden ist jetzt die durch Gummiringe allgemein gebräuchlich. Für das Fussgelenk ist auch gegen diese Befestigungsweise Nichts einzuwenden. Anders aber,

1) *E. du Bois-Reymond*, Beschreibung u. s. w., a. a. O. S. 98*. — Es ist hier der sogenannte »feuchte Arbeitsraum« *du Bois-Reymond's* gemeint. Will man die feuchte Kammer mit abzuhebendem Gehäuse (*E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 219*; Beschreibung u. s. w., a. a. O. S. 99*) benutzen, so empfiehlt es sich, unter den kurzen Seiten des Grundbrettes derselben hohe Leisten anzubringen, damit man die Drahtleitungen ebenso gut, wie es oben im Texte angegeben ist, isoliren könne.

2) *Ders.*, Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 254 ff.*

3) *Ders.*, Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 448 ff.*

wenn es sich um genaue und zumal längere Zeit dauernde Versuche handelt, hinsichts der Kniekehle, da durch den Ring in der Regel jedenfalls der Muskel und leicht sogar auch der Nerv gequetscht wird. Um jede solche Quetschung zu vermeiden, hatte ich auf das vordere Ende der Glasplatte ein kleines Korkstück aufgekittet und befestigte an diesem die Kniegelenkkapsel durch eine kurze Nadel.

(12.) Zum Schlusse mag nicht unerwähnt bleiben, dass die Verbindungsdrähte der verschiedenen Theile der Versuchsanordnung, so weit sie nicht schon besprochen worden sind, zum Zwecke sicherer Isolation stets in der gebräuchlichen Weise durch die Luft geführt waren mit Hülfe von Porzellanringen, welche an passend hoch im Zimmer ausgespannten Schnüren hingen. Die Dicke der Drähte war verschieden: wo der Widerstand der Leitungen möglichst klein sein sollte, war Telegraphendraht benutzt.

Kapitel II.

Untersuchung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke und Zurückführung derselben auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke.

§ 1. Erste Darlegung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung.

Im Kap. I. § 1. haben wir in derjenigen Leitung der gespaltenen Strecke unseres Stromnetzes, in welcher der Nervenabschnitt sich befindet, der Kürze der Darstellung halber immer nur den Nervenabschnitt allein vorhanden angenommen, obwohl diese Leitung in Wahrheit neben dem Nervenabschnitte noch die Zuleitungsröhren enthält. So lange es sich nur um die Discussion der Methode handelte, war die Vernachlässigung der Zuleitungsröhren auch ganz ohne Belang, weil wir den Einfluss der inneren Polarisation, wie sie in den Thonspitzen der Zuleitungsröhren auftritt, ohnedies schon in Folge ihres Auftretens am Nerven in Betracht zu ziehen hatten. Wollen wir nunmehr aber daran gehen, durch den Versuch die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke zu ermitteln, so ist die Sachlage eine andere. Es ist klar, dass die Versuche am Nerven stets nur die algebraische Summe der Widerstandsveränderungen des Nerven und der Zuleitungsröhren ergeben werden, und wir müssen daher, wofern wir aus diesen Versuchen die Widerstandsveränderungen des Nerven allein sollen entnehmen können, vor allen Dingen die Wider-

standsveränderungen der Zuleitungsröhren allein bei ihrer Durchströmung kennen lernen.

(1.) Ueber die Widerstandsveränderungen der Zuleitungsröhren bei ihrer Durchströmung.

Zu dem Zwecke bringen wir bei der Versuchsanordnung Fig. 1. die beiden Zuleitungsröhren, wie sie für die Versuche am Nerven vorbereitet sind, einander nahe und vereinigen in geringer Ausdehnung durch leichten Fingerdruck die unteren Enden ihrer Thonspitzen. Als Vergleichswiderstand benutzen wir hier 45 Meilen Telegraphendraht des *Siemens'*-schen Rheostaten. *K* ist 1 *Daniell*'sches Element.

Versuch 1.

Stromeintritt bei z_1.

10*h*.	25 *m*.		*K* geschlossen. (Schieber steht auf 700. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, an die Hemmung.)
	26 *m*.	647,5.	Der Widerstand nimmt ab.
	30 *m*.	646.	
	34 *m*.	645.	
	39 *m*.	644.	
	45 *m*.	643.	
	50½ *m*.	642.	
	56 *m*.	641.	
11*h*.	1 *m*.	640.	Empfindlichkeitsprüfung: Der Verschiebung von *S* um 5^{mm} entspr. const. Ablenkung d. Nadel v. 19°.
	5½ *m*.	639.	
	10 *m*.	638.	
	14 *m*.	637.	
	20 *m*.	636.	
	27 *m*.	635.	
	35 *m*.	634.	Sofort *K* geöffnet. Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 (im Thone) anzeigend, um 23° aus.
	45 *m*.		*K* geschlossen.
	46 *m*.	631,5	(eine Spur weniger).
	50 *m*.	631.	
	55½ *m*.	630.	
12*h*.	2 *m*.	629.	Empfindlichkeitsprüfung wie oben. Ablenk. 19°.
	6½ *m*.	628.	
	11 *m*.	627.	
	17 *m*.	626.	

Der Versuch wird zu anderen Zwecken fortgesetzt (s. Vers. 8. Kap. II. § 4.).

Versuch 2.

Stromeintritt bei *z*.

1 *h*.	30	*m*.		*K* geschlossen. (Schieber steht auf 750. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, an die Hemmung.)
	31	*m*.	690	(eine Spur weniger). Der Widerstand nimmt zu.
	32	*m*.	691.	Der Widerstand verändert sich nicht merklich bis
	35	*m*.		und nimmt dann ab.
	40	*m*.	690.	
	56	*m*.	689.	
2 *h*.	13	*m*.	688.	Empfindlichkeitsprüfung: der Verschiebung von *S* um 5^{mm} entspr. const. Ablenkung d. Nadel v. 15°.
	30	*m*.	687.	Sofort *K* geöffnet.
				Die Nadel schlägt, Strom von z_1 nach *z* anzeigend, um 15° aus.
3 *h*.	30	*m*.		*K* geschlossen.
	31	*m*.	680	(eine Spur mehr).
	45	*m*.	679.	Empfindlichkeitsprüf. wie oben. Ablenk. 16—17°.
	55	*m*.	678.	
4 *h*.	5	*m*.	677.	(etwas mehr). Sofort *K* geöffnet. Nadelausschlag wie vorhin: 12°.

Wie diese als Beispiele mitgetheilten Versuche lehren, erfährt der Widerstand unserer Zuleitungsröhren bei der Durchströmung eine Abnahme, und da die innere Polarisation des Thones dem primären Strome entgegengesetzt gerichtet ist, stellt sich die Widerstandsabnahme der Zuleitungsröhren in den Versuchen sogar noch geringer dar, als sie in Wirklichkeit ist (s. Kap. I. § 1.).

Ermitteln wir in unseren Versuchsbeispielen mit Hülfe des Nadelausschlages bei der Oeffnung von *K* die durch die innere Polarisation im Sinne einer Widerstandsvermehrung herbeigeführte Schieberverstellung, so beträgt diese c. 5^{mm}: es ist demnach die durch die innere Polarisation verdeckte Widerstandsabnahme der Zuleitungsröhren durchaus nicht klein gegenüber der beobachteten.

In Folge der Diffusion der concentrirten Zinkvitriollösung mit der verdünnten Kochsalzlösung muss der Widerstand der Zuleitungsröhren, auch ohne dass sie vom Strome durchflossen sind, mit der Zeit abnehmen. Allein diese Widerstandsabnahme ist, wie später noch sich zeigen wird [1], wesentlich kleiner als die Widerstandsabnahme, welche wir eben beobachtet haben, so dass

1) S. u. Kap. III. § 5. Die Widerstandsabnahme der Zuleitungsröhren mit der Zeit beträgt in den ersten zwei Stunden nach der Herrichtung der Röhren, zu welcher Zeit die Abnahme am grössten ist, noch nicht 1 Meile Tel.-Draht.

ein Theil der letzteren Widerstandsabnahme zweifellos die Folge der Durchströmung ist. Auch sind in der Erwärmung der Zinklösung und der Thonspitzen[1] und in der Fortführung der in den Thonspitzen enthaltenen Flüssigkeit[2] durch den Strom die Ursachen der Verringerung, welche der Widerstand der Zuleitungsröhren in Folge ihrer Durchströmung erfährt, uns bereits bekannt. Von den beiden genannten Vorgängen hat der eine, die Erwärmung, nur während der ersten Zeit der Durchströmung statt: denn wenn auch die Wärmeentwickelung in den Zuleitungsröhren durch den Strom — von der geringen Veränderung der Stromintensität abgesehen — während der ganzen Dauer der Durchströmung in der Zeiteinheit die nämliche ist, so muss doch die Temperaturzunahme der Zuleitungsröhren in der Zeiteinheit mit der Dauer des Stromes abnehmen, weil die Wärmeabgabe der Zuleitungsröhren nach aussen hin[3] desto grösser sein wird, je höher bereits ihre Temperatur ist; und nothwendig müssen die Zuleitungsröhren schliesslich eine constante Temperatur annehmen, bei welcher sie in der Zeiteinheit genau so viel Wärme durch Abgabe nach aussen hin verlieren, als sie durch den Strom gewinnen. Der andere Vorgang aber ist in seiner Dauer nicht so beschränkt: bis zu den durch die Natur der Dinge gesteckten Grenzen muss, in Folge der Fortführung der verdünnten Kochsalzlösung in den Thonspitzen durch den Strom, die besser leitende Zinklösung von der positiven Elektrode her in den Thon nachrücken und in den Poren des letzteren an die Stelle der schlechter leitenden Kochsalzlösung treten.

Nach allem Dem müssten mir nun, da den Widerstand vermehrende Vorgänge in den Zuleitungsröhren bei ihrer Durchströmung nicht statthaben, erwarten, in unseren Versuchen den Widerstand von der Schliessung der Kette an mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit kleiner werden zu sehen. Statt dessen zeigt die Schieberverstellung, bevor der Widerstand mit abnehmender Geschwindigkeit sich verringert, mehr oder weniger deutlich ausgesprochen noch eine Abnahme des Widerstandes mit allmählich zunehmender Geschwindigkeit, ja sogar in einzelnen Versuchen vor dieser letzteren Abnahme noch eine Zunahme des Widerstandes mit abnehmender Geschwindigkeit an. Es ergiebt sich aber leicht, dass diese Abweichung nur der Fehlerquelle der inneren Polarisation zuzuschreiben

1) S. o. Abschn. I. Kap. I. § 3. Die metallischen Bestandtheile der Zuleitungsröhren, die Zinkplatten und die Zuleitungsdrähte, lassen sich vernachlässigen, weil ihr Wistand dem Widerstande der Zinklösung und der Thonspitzen gegenüber verschwindet.

2) S. o. Abschn. I. Kap. I. § 2.

3) Die Temperatur der die Zuleitungsröhren — und weiterhin den Nerven — umgebenden Luft ist natürlich wegen des grossen Volumens dieser und der gerade durch die Erwärmung in ihr entstehenden Strömungen trotz der Erwärmung von den Zuleitungsröhren — resp. dem Nerven — her als constant anzusehen.

ist, deren grossen Einfluss auf die Versuchsergebnisse im Ganzen wir schon vorhin erkannt haben. Von der Schliessung der Kette an veranlassen die innere Polarisation und die Erwärmung[1] der Zuleitungsröhren, welche beide mit abnehmender Geschwindigkeit wachsen, beide eine Verstellung des Schiebers mit abnehmender Geschwindigkeit, aber eine Verstellung in entgegengesetzter Richtung: die innere Polarisation im Sinne der Widerstandszunahme, die Erwärmung im Sinne der Widerstandsabnahme. Je nachdem nun in dem Conflicte zunächst dieser oder jener Vorgang durch seine Grösse den anderen überwindet, muss offenbar unmittelbar nach der Schliessung der Kette die Schieberverstellung eine Abnahme oder eine Zunahme des Widerstandes anzeigen. Wenn dann unter allen Umständen sehr bald nach der Schliessung die Schieberverstellung im Sinne der Widerstandsabnahme erfolgt, so ist hieraus zu entnehmen, dass die Geschwindigkeit, mit welcher die beiden Vorgänge wachsen, bei der Polarisation rascher abnimmt als bei der Erwärmung: und in der That finden wir die Polarisation schon wenige Minuten nach der Schliessung auffallend gross im Verhältniss zu der Grösse, welche sie nach viel längerer Zeit erreicht. Als Folge des Conflictes ergiebt es sich schliesslich auch von selbst, dass in den Fällen, in welchen die Schieberverstellung von der Schliessung der Kette an eine Abnahme des Widerstandes anzeigt, diese Abnahme zuerst mit zunehmender Geschwindigkeit zu erfolgen scheint.

Fig. 4. ist zur Versinnlichung des extremen Falles bestimmt, in welchem die Schieberverstellung unmittelbar nach der Schliessung der Kette im Sinne einer Widerstandszunahme erfolgt. Die Abscissenaxe $\dot{O}t$ stellt die Zeit nach der Schliessung vor[2]; die Ordinaten bedeuten die Schieberverstellungen in Millimetern, und zwar sind diese positiv angenommen, wenn sie eine Widerstandsvermehrung, negativ, wenn sie eine Widerstandsverminderung anzeigen. $\dot{O}P$ ist die Curve der durch die innere Polarisation, $\dot{O}SC$ die Curve der durch die Erwärmung, endlich $\dot{O}sD$ die Curve der durch die Flüssigkeitsfortführung und die Diffusion herbeigeführten Schieberverstellungen[3]. Durch algebraische Summirung der Ordinaten dieser drei Curven für jeden Punkt der Abscisse ergiebt sich die

1) Der Kürze halber behandeln wir hier von den den Widerstand verringernden Ursachen die Erwärmung allein, weil sie die einflussreichste und gerade für den Anfang der Versuche bedeutungsvoll ist: der Einfluss der anderen den Widerstand vermindernden Ursachen ist leicht zu übersehen.

2) Die zweite, dem Stücke $t_1 t$ der Abscissenaxe entsprechende Hälfte der Figur, welche § 4. angehört, ist vorläufig zu übersehen.

3) Es bedarf wohl kaum der Bemerkung, dass diese Curven — und zumal die letzte — nicht Anspruch auf strenge Richtigkeit machen. Uebrigens ist in den Curven auf die Veränderungen der Stromintensität, zu welchen die Widerstandsveränderungen der Zuleitungsröhren Anlass sind, Rücksicht genommen, während dieselben, wiederum der Kürze halber, im Texte oben (und auch unten § 4.) ausser Acht gelassen sind.

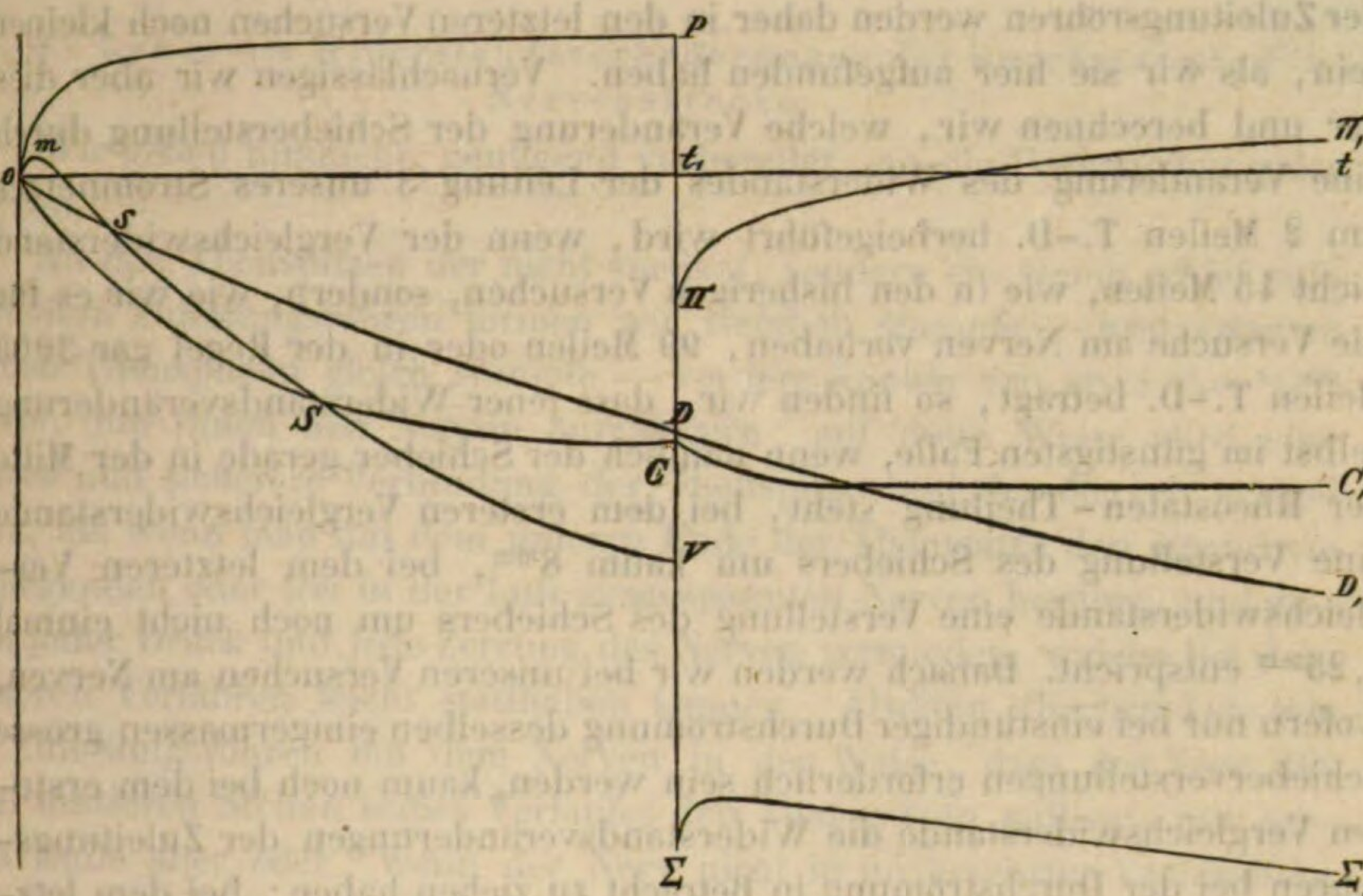


Fig. 4.

Curve der im Versuche wirklich zur Beobachtung kommenden Schieberverstellungen: es ist die Curve *OmsSV*.

Bei dieser kurzen und nur die Hauptmomente umfassenden Erörterung der Widerstandsveränderungen der Zuleitungsröhren müssen wir es bewenden lassen, wenn wir nicht gar zu weit abschweifen wollen. Als gelegentliche Prüfung, wie weit die Polarisation die den Widerstand beeinflussenden Vorgänge, zumal wenn diese nur klein sind, verdecken könne, war die Erörterung für uns werthvoll: für unseren eigentlichen Zweck, die Erforschung der Widerstandsveränderungen des Nerven, war sie nicht erforderlich. Hierfür genügte es einfach zu constatiren, welche Veränderungen der Schieberstellung durch die Zuleitungsröhren allein während der Durchströmung herbeigeführt werden. Und hier haben wir nunmehr noch einen Schritt weiter zu gehen.

Die Verringerung des Widerstandes der Zuleitungsröhren, welche zur Beobachtung kommt, wenn ein Strom von solcher Intensität, wie in den eben angestellten Versuchen, eine Stunde lang dieselben durchfliesst, beträgt in maximo weniger als 1,5 Meilen Telegraphendraht, und wenn wir die durch die Polarisation verdeckte Widerstandsabnahme noch hinzunehmen, so beläuft sich die Widerstandsabnahme der Zuleitungsröhren bei ihrer einstündigen Durchströmung in Wahrheit doch noch nicht auf 2 Meilen T.-D. Nun ist in unseren Versuchen hier die Intensität des die Zuleitungsröhren durchfliessenden Stromes viel grösser gewesen, als sie in unseren Versuchen am Nerven sein wird, und die Widerstandsveränderungen

der Zuleitungsröhren werden daher in den letzteren Versuchen noch kleiner sein, als wir sie hier aufgefunden haben. Vernachlässigen wir aber dies gar und berechnen wir, welche Veränderung der Schieberstellung durch eine Veränderung des Widerstandes der Leitung 3 unseres Stromnetzes um 2 Meilen T.-D. herbeigeführt wird, wenn der Vergleichswiderstand nicht 45 Meilen, wie in den bisherigen Versuchen, sondern, wie wir es für die Versuche am Nerven vorhaben, 99 Meilen oder in der Regel gar 3000 Meilen T.-D. beträgt, so finden wir, dass jener Widerstandsveränderung selbst im günstigsten Falle, wenn nämlich der Schieber gerade in der Mitte der Rheostaten-Theilung steht, bei dem ersteren Vergleichswiderstande eine Verstellung des Schiebers um kaum 8^{mm}, bei dem letzteren Vergleichswiderstande eine Verstellung des Schiebers um noch nicht einmal $0,25^{mm}$ entspricht. Danach werden wir bei unseren Versuchen am Nerven, wofern nur bei einstündiger Durchströmung desselben einigermassen grosse Schieberverstellungen erforderlich sein werden, kaum noch bei dem ersteren Vergleichswiderstande die Widerstandsveränderungen der Zuleitungsröhren bei der Durchströmung in Betracht zu ziehen haben; bei dem letzteren Vergleichswiderstande werden wir sie — und sie könnten hierfür sogar noch viel grösser sein, als wir sie gefunden haben — ganz vernachlässigen und die zur Beobachtung kommenden Widerstandsveränderungen allein auf Rechnung des Nerven setzen können. Und da bei mehrstündiger Durchströmung der Zuleitungsröhren ihre Widerstandsabnahme in jeder folgenden Stunde kleiner ist als in der vorhergehenden, gilt natürlich, was wir eben für die erste Stunde der Durchströmung des Nerven ermittelt haben, erst recht für jede folgende Stunde.

Bevor wir die Zuleitungsröhren verlassen, sei beiläufig noch darauf aufmerksam gemacht, dass ihr Widerstand lange nicht so gross anzunehmen ist, wie *Ranke*[1] ihn angegeben hat: *Ranke* fand den Widerstand seiner Zuleitungsröhren:

1. Paar feucht: 105 Meilen T.-D.
2. Paar aus etwas trockenem Thon: 112 Meilen T.-D.

Nach den oben mitgetheilten Versuchen und nach meinen übrigen, mit diesen übereinstimmenden Versuchen beträgt der Widerstand meiner Zuleitungsröhren mit Thonspitzen, wenn der Thon mit 1%iger Kochsalzlösung getränkt und nur so feucht ist, dass er eben gut sich kneten lässt, im Mittel etwa 37 Meilen T.-D. Ist die Kochsalzlösung etwas concentrirter (1½ — 2%ig), so beträgt der Widerstand meiner Zuleitungsröhren sogar nur 25—30 Meilen T.-D.

1) Der galvanische Leitungswiderstand u. s. w. S. 21—2*. (Tetanus, S. 26*.)

(2.) Ueber die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke.

Wir gehen nunmehr, genügend vorbereitet, an die Untersuchung des Nerven.

An den Thonspitzen der nicht vertikal, sondern ein wenig schief aufgestellten Zuleitungsröhren formen wir ziemlich stumpfe — und zwar an beiden Thonspitzen gleich stumpfe — vordere Kanten von etwa $\frac{1}{2}$—$\frac{3}{4}$ mm Breite, um ihnen den Nerven aufzulagern: auf diese Weise wird eine festere und sicherere Verbindung der Thonspitze und des Nerven hergestellt, als wenn man mit dem unteren Ende der Thonspitze den irgendwie aufliegenden oder frei in der Luft ausgespannten Nerven berührt, und zudem jeder Druck und jede Zerrung des Nerven vermieden, welche bei dem letzteren Verfahren leicht statthaben können. Alsdann überbrücken wir die Zuleitungsröhren mit dem Nerven in der Weise, dass der Nerv mit zwei mittleren Stellen seines Verlaufes den Thonspitzen aufliegt, mit seinem Ende aber oder, wenn der Nerv nicht in unversehrter Verbindung mit dem Unterschenkel erhalten ist, mit seinen beiden Enden auf Glasröhren ruht, welche zu den Seiten der Zuleitungsröhren angebracht und, wie diese, auf dem Glasstative wohl isolirt sind.

K ist in den Versuchen, bis andere Angaben gemacht werden, = 1—6 *Daniell's* oder *Grove's*.

Versuch 3.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei z_1.

3 *h*.	14 *m*.		Mittelgrosser (frisch eingefangener Frühjahrs-)Frosch ††.
	18 *m*.		Ischiadicus auf die Zuleitungsröhren gelegt.
	22 *m*.		*K* geschlossen. Schieber steht auf 800. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand des Nerven anzeigend, um 7° aus. Der Widerstand nimmt zu.
	23 *m*.	830.	
	24 *m*.	860.	
	25 *m*.	877.	
	27 *m*.	905.	
	31 *m*.	965.	
	35 *m*.	1017.	
	39 *m*.	1057.	
	43 *m*.	1097.	
	51 *m*.	1170.	
	59 *m*.	1220.	Empfindlichkeitsprüfung: der Verschiebung v. *S* um 20 mm entspricht const. Ablenk. d. Nadel v. c. 5°.

4 h. 7 m. 1250.
15 m. 1267.
23 m. 1275. Sofort *K* geöffnet.
Die Nadel schlägt, Strom von *z* nach z_1 (im Nerven) anzeigend, um 2° aus.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 5{,}5^{mm}$; bo[1] $= 7^{mm}$; $bw = 34^{mm}$; $am = 18^{mm}$. Bei der Schliessung und bei der Oeffnung der Kette zuckte der Muskel.

Versuch 4.

Wd: Capillarröhre II. — *K*: 4 Daniells. — Stromeintritt bei z_1.

9 h. 42 m. Kleiner (vor 4 Monaten eingefangener Winter-) Frosch ††.
48 m. Ischiadicus auf die Zuleitungsröhren gelegt.
10 h. 0 m. *K* geschlossen. Schieber auf 700.
Die Nadel bleibt einige Secunden auf Null und geht dann, grösseren Widerstand des Nerven anzeigend, langsam um 7° vor.
1 m. 738.
2 m. 750.
3½ m. 763.
6 m. 780.
9½ m. 800.
15½ m. 820.
23½ m. 830. Empfindlichkeitsprüfung: der Verschiebung von *S* um 10^{mm} entspricht const. Ablenkung der Nadel von fast 2°.
37 m. 840.
50 m. 843. Sofort *K* geöffnet.
Die Nadel schlägt, Strom von *z* nach z_1 anzeigend, um etwas über 2° aus.

Nur ein 30^{mm} langes Stück des Ischiadicus war benutzt worden, und genau in seiner Mitte hatte es der Strom aufsteigend durchflossen. $ab = 6^{mm}$; $ao = 3{,}5^{mm}$. Der Nerv war sehr dünn.

1) *bo* = Länge des Nerven zwischen *b* und der Abgangsstelle des stärksten Oberschenkelastes;
bw = Länge des Nerven zwischen *b* und der Wirbelsäule;
am = Länge des Nerven zwischen *a* und dem Muskel.

Versuch 5.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei z_1.

Der Schenkel, welchem der Nerv entnommen wird, gehört einem am Tage vorher 1 *h*. 39 m. Mittags getödteten mittelgrossen Frosche an und ist bisher enthäutet im feuchten Raume aufbewahrt worden.

9 *h*.	37	*m*.	Ischiadicus aufgelegt.	
	41	*m*.	*K* geschlossen. Schieber auf 700.	
			Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand des Nerven anzeigend, an die Hemmung. Der Widerstand nimmt rasch zu.	
	42	*m*.	980.	
	43	*m*.	1060.	
	44	*m*.	1130.	
	45	*m*.	1180.	
	46	*m*.	1220.	
	47	*m*.	1250.	
	48	*m*.	1275.	
	49	*m*.	1295.	
	50	*m*.	1307.	
	51	*m*.	1317.	
	54	*m*.	1340.	
	$55^3/_4$	*m*.	1350.	Empfindlichkeitsprüfung: der Verschiebung von *S* um 10^{mm} entspricht const. Ablenkung der Nadel von c. 3^0.
	58	*m*.	1360.	
10 *h*.	$1^1/_2$	*m*.	1370.	
	10	*m*.	1380.	Sofort *K* geöffnet. Die Nadel schlägt, Strom von *z* nach z_1 anzeigend, um $4^1/_2{}^0$ aus.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 4{,}5^{mm}$; $bo = 7^{mm}$; $bw = 32^{mm}$; $am = 16^{mm}$. Bei der Oeffnung der Kette zuckte der Muskel. Nicht lange nach der Beendigung des Versuches war die untersuchte Nervenstrecke todt.

Versuch 6.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei *z*.

Der Schenkel, welchem der Nerv entnommen wird, gehört einem zwei Tage vorher 3 *h*. 56 *m*. getödteten mittelgrossen Frosche an und ist bisher enthäutet im feuchten Raume aufbewahrt worden. Die Muskeln des Schenkels sehen sehr trübe und schon faulig aus.

8 h.	58 m.		Ischiadicus aufgelegt.
9 h.	6 m.		K geschlossen. Schieber auf 1000. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand des Nerven anzeigend, um 38° aus. Der Widerstand nimmt rasch zu.
	7 m.	c. 915.	
	9 m.	935.	
	10 m.	955.	
	11½ m.	980.	
	13½ m.	1020.	
	16 m.	1050	(etwas mehr).
	18 m.	1080.	
	20 m.	1100.	
	22 m.	1120.	
	24½ m.	1140.	
	28½ m.	1160.	
	34 m.	1180.	Empfindlichkeitsprüfung: der Verschiebung von S um 10^{mm} entspricht const. Ablenkung der Nadel von fast 3°.
	41 m.	1200.	
	52 m.	1220.	
10 h.	7 m.	1225	(ohngefähr). — Sofort K geöffnet. Die Nadel schlägt, Strom von z_1 nach z anzeigend, um 5° aus.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 6^{mm}$; $bo = 8^{mm}$; $bw = 41^{mm}$; $am = 17^{mm}$. Schon vor dem Beginne des Versuches hatten die Muskeln weder auf directe noch auf indirecte Reize reagirt.

Die Versuche ergeben eine grosse Widerstandszunahme der durchströmten Nervenstrecke. Allerdings stellt sich, da die innere Polarisation der durchströmten Nervenstrecke dem primären Strome entgegengesetzt gerichtet ist, die Widerstandszunahme in den Versuchen zu gross dar (vgl. Kap. I. § 1.): allein die Versuche zeigen sogleich auch weiter, wie gering nur der durch die Polarisation bedingte Fehler ist. Berechnen wir für unsere Versuchsbeispiele mit Hülfe des Nadelausschlages bei der Oeffnung der Kette die Veränderung der Schieberstellung, welche durch die innere Polarisation herbeigeführt ist, so beträgt diese — nach der für sie günstigsten Berechnung — bei den Versuchen 3. und 4. c. 10^{mm}, bei den Versuchen 5. und 6. nicht ganz 20^{mm}, und nach Abzug dieser 10 resp. 20^{mm} von der beobachteten Schieberverstellung giebt uns die übrigblei-

bende Veränderung der Schieberstellung in den Versuchen die beträchtliche Zunahme an, welche der Widerstand der betreffenden Nervenstrecken bei ihrer Durchströmung in Wahrheit erfahren hat.

Hierbei vernachlässigen wir die Widerstandsveränderung der Zuleitungsröhren, welche mit der Nervenstrecke in derselben Leitung sich befinden, weil sie bei unserer Verwendung der Capillarröhre als Vergleichswiderstand nach den Ermittelungen in (1.) der grossen Schieberverstellung in den Versuchen gegenüber verschwindet — und dies um so mehr, als die Stromintensität in den Zuleitungsröhren jetzt viel kleiner ist als in den Versuchen, welche wir vorhin an den Zuleitungsröhren allein angestellt haben. Uebrigens würde, zumal da der durch die innere Polarisation des Thones bedingte Fehler zugleich mit dem durch die innere Polarisation der Nervenstrecke selbst herbeigeführten Fehler bereits eliminirt ist, in Folge der Abnahme des Widerstandes der Zuleitungsröhren bei ihrer Durchströmung die Widerstandszunahme der durchströmten Nervenstrecke in Wahrheit nur noch ein wenig grösser sein, als wir sie eben angenommen haben.

Es bleibt dann nur ein Bedenken hinsichts unseres Ergebnisses noch zu zerstreuen.

Der Widerstand des flüssigen Vergleichswiderstandes wird in Folge der Erwärmung durch den Strom mit der Zeit kleiner, und diese Abnahme des Vergleichswiderstandes muss eine scheinbare Zunahme des Widerstandes des Nerven zur Folge haben. Zwar wird nun, dass die Widerstandszunahme der durchströmten Nervenstrecke in der Grösse, wie wir sie erkannt haben, nicht durch die Erwärmung des flüssigen Vergleichswiderstandes vorgetäuscht ist, wenn wirklich dies Jemand sollte glauben wollen, schon dadurch erwiesen, dass in den mit dem *Siemens*'schen Rheostaten als Vergleichswiderstand angestellten Versuchen, in welchen die Widerstandszunahme der Drahtmassen des Rheostaten in Folge der Erwärmung durch den Strom gerade den entgegengesetzten Erfolg — eine scheinbare Abnahme des Nervenwiderstandes — nach sich ziehen müsste, doch gleichfalls die Widerstandszunahme der Nervenstrecke auftritt (vgl. u. Versuch 9. § 4.). Und wenn bei diesen Versuchen die Widerstandszunahme der Nervenstrecke aus anderen Gründen, welche wir später im Kap. III. §. 2. und 3. werden kennen lernen, im Durchschnitt kleiner als bei unseren Versuchen hier sich darstellt, so lehren die Versuche des § 4. weiter, dass die scheinbare Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Erwärmung des flüssigen Vergleichswiderstandes sogar nur eine ganz unwesentliche sein kann. Allein wir wollen doch, um die Ergebnisse der vorliegenden Versuche für sich allein vor allen Zweifeln sicher zu stellen, den Einfluss der Erwärmung des flüssigen Vergleichswiderstandes sogleich unmittelbar zu ermitteln suchen.

Wir nehmen dazu in den Zweig unseres Stromnetzes, welcher den Vergleichswiderstand enthält, einen *Pohl*'schen Stromwender mit ausgenommenem Kreuze auf und verbinden mit ihm die beiden Capillarröhren I und II, deren Widerstände bei gleicher Temperatur nach wiederholten directen Bestimmungen = 744 : 756 sich verhalten, in der Weise, dass wir durch Umlegen der Wippe nach Belieben die eine oder die andere der Capillarröhren als Vergleichswiderstand in den Stromkreis einschalten können. Alsdann stellen wir unsere Versuche wieder, wie bisher, an mit Benutzung der Capillarröhre I, legen aber vor der Beendigung jedes Versuches die Wippe um, so dass an Stelle der durch den Strom erwärmten Capillarröhre I die noch nicht durchströmte Capillarröhre II in den Schliessungskreis aufgenommen wird.

Versuch 7.

Wd: Capillarröhre I. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei z_1.

1 *h*.	40 *m*.	Kleiner Frosch ††.
	46 *m*.	Ischiadicus aufgelegt.
2 *h*.	10 *m*.	*K* geschlossen. Schieber auf 720. Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand des Nerven anzeigend, um etwas über 10° aus. Der Widerstand nimmt zu.
	11 *m*.	800 (eine Spur weniger).
	14 *m*.	810.
	18 *m*.	820.
	23 *m*.	830.
	28½ *m*.	840.
	35 *m*.	850.
	41½ *m*.	860.
	48 *m*.	870.
	55 *m*.	880.
3 *h*.	2 *m*.	890. — Empfindlichkeitsprüfung: der Verschiebung von S um 10mm entspr. const. Ablenkung der Nadel von c. ¾°.
	9 *m*.	900. Sofort wird durch Umlegen der Wippe[1] Capillarröhre II an Stelle der Capillarröhre I eingeschaltet. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand des Nerven anzeigend, um c. ½° aus.

1) Die Oeffnung des Zweiges des Vergleichswiderstandes, welche mit dem Umlegen der Wippe verbunden ist, bleibt, offenbar ihrer nur sehr kurzen Dauer wegen, ohne jeden Einfluss auf die Nadel.

3 *h.*	$9\frac{1}{2}$ *m.*	895.	Der Widerstand nimmt zu.
	11 *m.*	898	(etwas mehr). Sofort wieder Capillarröhre I an Stelle der Capillarröhre II eingeschaltet. Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand des Nerven anzeigend, um etwas über $\frac{1}{2}^0$ aus.
	$11\frac{1}{2}$ *m.*	903	(etwas mehr).
	17 *m.*	910.	Sofort *K* geöffnet. Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um etwas über $\frac{1}{2}^0$ aus.

Der Ischiadicus war fast in seiner ganzen Länge erhalten, vom Muskel aber getrennt. $ab = 8^{mm}$; $bo = 3^{mm}$; br[1] $= 24^{mm}$; $al = 10^{mm}$.

Dabei zeigt sich denn allerdings, dass nach dem Umlegen der Wippe eine Veränderung der Schieberstellung im Sinne einer Widerstandsverringerung der Nervenstrecke erforderlich ist, damit die Nadel wieder auf Null einsteht. Allein einmal beträgt diese Schieberverstellung höchstens 5^{mm}, und sodann schliesst sie noch diejenige Schieberverstellung ein, welche schon allein in Folge der ungleichen Widerstände der beiden Capillarröhren I und II bei gleicher Temperatur derselben sich herausstellen musste. Auch lässt sich leicht nachweisen, dass gerade die letztere Schieberverstellung von der grösseren Bedeutung ist. Verfahren wir nämlich umgekehrt wie bisher, so dass wir zuerst mit der Capillarröhre II arbeiten und gegen Schluss des Versuches an deren Stelle die Capillarröhre I einschalten, so ist nach dem Umlegen der Wippe eine Schieberverstellung um 1—2^{mm} im Sinne einer Widerstandsvermehrung des Nerven erforderlich: es ist also in Folge der Temperaturerhöhung durch den Strom der Widerstand der Capillarröhre II noch nicht um so viel verringert worden, als er von vorn herein bei gleicher Temperatur grösser war als der Widerstand der Capillarröhre I. Die Schieberverstellung in Folge der Erwärmung des flüssigen Vergleichswiderstandes durch den Strom ist demnach nur so gering, dass sie der grossen Schieberverstellung gegenüber, welche in den Versuchen erforderlich war, verschwindet: wollte man sie jedoch durchaus nicht vernachlässigen, so würde man sie von der nach Eliminirung des Fehlers der inneren Polarisation übrig gebliebenen Veränderung der Schieberstellung in den Versuchen in Höhe von etwa 2—3^{mm} in Abrechnung zu bringen haben.

1) br = Länge des Nerven zwischen b und dem rechten Nervenende;
al = Länge des Nerven zwischen a und dem linken Nervenende.

Es unterliegt jetzt keinem Zweifel mehr, dass der Widerstand der durchströmten Nervenstrecke beträchtlich wächst. Allein bei der geringen Grösse der Fehler unserer Versuche, wie sie sich eben ergeben hat, können wir uns mit diesem Erwerbe noch nicht zufrieden geben. Wie bisher die anfängliche und die schliessliche Schieberstellung allein, so wollen wir weiter sämmtliche Schieberstellungen während der Dauer der Durchströmung in's Auge fassen, um uns Auskunft auch darüber zu verschaffen, in welcher Weise die Widerstandszunahme der Nervenstrecke statthat.

Indessen lassen sich die beobachteten Schieberstellungen nicht unmittelbar für unseren Zweck verwerthen, weil die Schieberverstellungen um gleiche Längenwerthe doch Widerstandsveränderungen von verschiedener Grösse repräsentiren. Von zwei auf derselben Hälfte des Rheostaten gelegenen gleichen Längenwerthen entspricht nämlich der von der Mitte des Rheostaten entferntere Längenwerth einer grösseren Widerstandsveränderung als der der Mitte nähere Längenwerth. Hierdurch kann, wie man leicht übersieht, unter gewissen Umständen, wenn eine Veränderung des Nervenwiderstandes mit constanter Geschwindigkeit erfolgt, durch die erforderliche Schieberverstellung doch der Anschein hervorgerufen werden, als ob der Widerstand mit zunehmender resp. abnehmender Geschwindigkeit sich verändere; es kann ferner eine Widerstandsveränderung der Nervenstrecke nach der erforderlichen Schieberverstellung mit abnehmender Geschwindigkeit stattzuhaben scheinen, während in Wahrheit die Geschwindigkeit der Veränderung zunimmt; — und umgekehrt. Wir sind deshalb genöthigt, für unsere Versuche nach jeder einzelnen Schieberstellung den Widerstand der Nervenstrecke zu der betreffenden Zeit zu berechnen.

Die (gestrichelte) Curve OV der Fig. 5.[1] ist alsdann der graphische Ausdruck des Ergebnisses

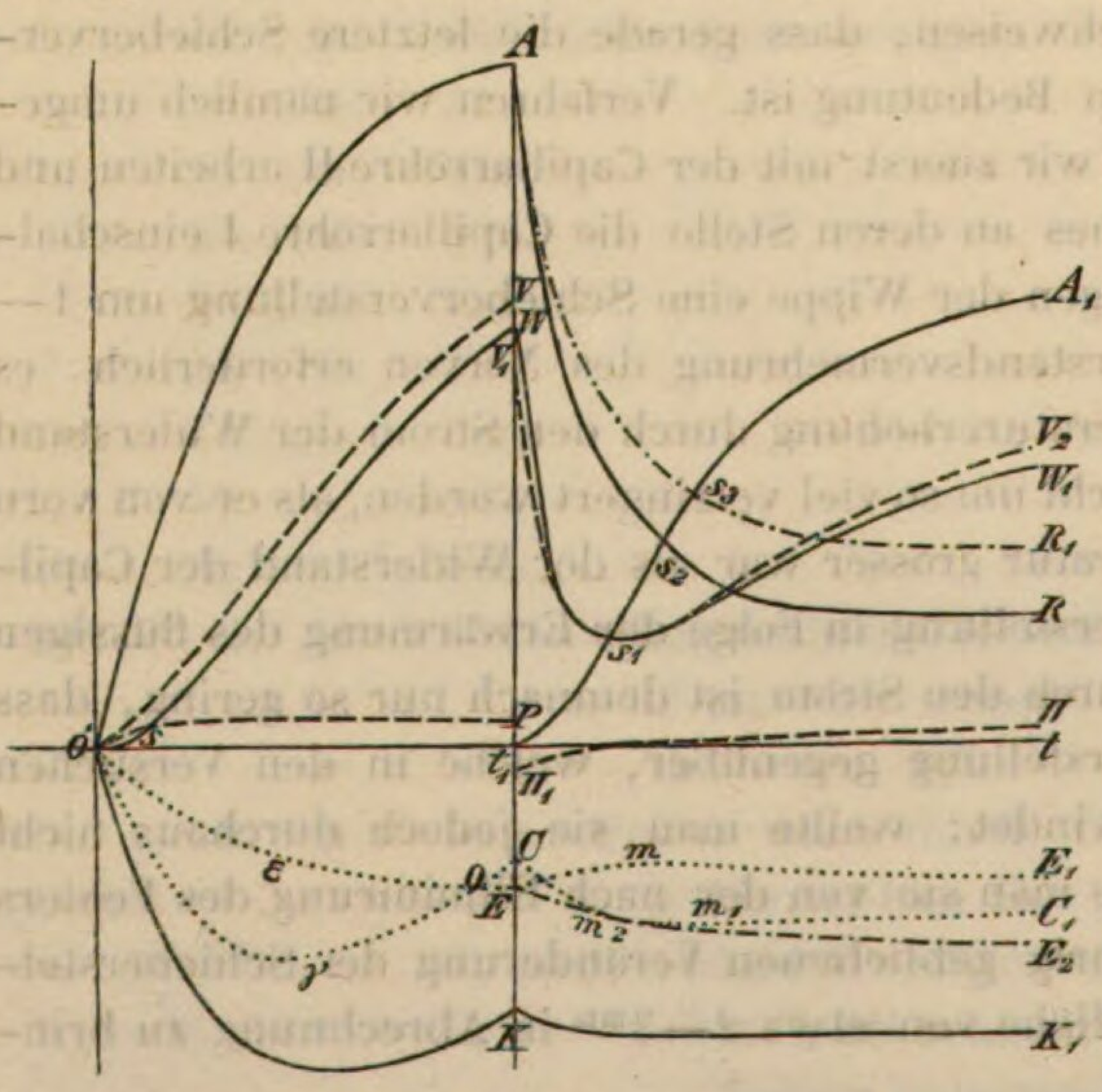


Fig. 5.

1) Die zweite, dem Stücke $t_1 t$ der Abscissenaxe entsprechende Hälfte der Fig. 5. ist vorläufig zu übersehen.

unserer Versuche. Als Abscissen sind die Zeiten nach der Schliessung der Kette, als Ordinaten die (berechneten) Widerstandszuwächse verzeichnet, und die Curve *ÒV* stellt somit die Widerstandszunahme der durchströmten Nervenstrecke nach den Versuchen dar. Es wächst danach der Widerstand der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung zuerst mit allmählich zunehmender, dann mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit. Die Curve *ÒV* ist aber noch mit den Fehlern behaftet, welche durch die innere Polarisation der Nervenstrecke und durch die Erwärmung des Vergleichswiderstandes in die Versuche eingeführt sind, und wir haben zuzusehen, wie zu dieser Curve *ÒV* die Curve der wahren Widerstandszunahme der Nervenstrecke sich verhält.

Von der inneren Polarisation ist es bekannt, dass sie nach der Schliessung der Kette mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit zunimmt und schliesslich ein Maximum erreicht, auf welchem sie sich unverändert erhält [s. Abschn. I. Kap. 1. § 1 (6)]. Ebenso wächst die Temperatur des flüssigen Vergleichswiderstandes aus den nämlichen Gründen, wie sie vorhin in (1.) für die Zuleitungsröhren entwickelt sind, nach der Schliessung der Kette mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit bis zu einem Maximum und bleibt weiterhin constant. Da nun beide Fehlerquellen unsere Versuche in der Weise beeinflussen, dass sie den Widerstand der Nervenstrecke zu gross erscheinen lassen, so folgt aus dem Gesagten für die Curve der wahren Widerstandszunahme der Nervenstrecke einmal, dass ihre sämmtlichen Ordinaten kleiner sein müssen als die der Curve *ÒV*, sodann aber auch, dass ihr Anfangsstück weniger rasch ansteigend, gegen die Abscissenaxe convexer sein muss als das Anfangsstück der Curve *ÒV*.

Das letztere Ergebniss ist für uns noch von besonderem Interesse. Während nämlich die schliessliche Abnahme der Geschwindigkeit, mit welcher der Nervenwiderstand bei der Durchströmung wächst, ohne Ausnahme in allen Versuchen, wofern sie nur genügend lange fortgesetzt sind, ganz bestimmt hervortritt, lässt die anfängliche Zunahme der Geschwindigkeit in manchen Versuchen, in welchen das Wachsen des Widerstandes sehr rasch erfolgt, nur undeutlich oder auch gar nicht sich erkennen. Ziehen wir nunmehr bei diesen Versuchen die Fehlerquellen der inneren Polarisation der Nervenstrecke und der Erwärmung des Vergleichswiderstandes in Betracht, so ist auch bei den meisten von ihnen die anfängliche Convexität der Curve gegen die Abscissenaxe ausser allem Zweifel.

Was wir vorhin über das Verhalten der inneren Polarisation der Nervenstrecke und der Erwärmung des Vergleichswiderstandes gesagt haben, bedarf aber noch einer Berichtigung. Allerdings nämlich verharren beide, sobald sie ihr Maximum erreicht haben, unverändert auf diesem, wenn der Strom constant bleibt. Allein in unserem Falle wird durch die Wider-

standszunahme der Nervenstrecke mit der Dauer des Stromes die Intensität desselben in der Nervenstrecke und im Vergleichungswiderstande immer kleiner, und darum müssen die innere Polarisation der Nervenstrecke und die Temperatur des Vergleichswiderstandes von ihrem Maximum aus wieder abnehmen, die erstere freilich nur dann, wenn zur Hervorrufung ihres Maximums nicht auch der schwächere Strom immer noch ausreichend ist.

Trotz mehrfacher hierauf gerichteter Bestrebungen ist es mir nicht gelungen, bei der Polarisation — für die Temperatur des Vergleichswiderstandes war von vorn herein darauf zu verzichten — die in Rede stehende Abnahme in den Versuchen deutlich zur Beobachtung kommen zu lassen. Wenn dies nun auch keineswegs auffallen kann, weil der Einfluss der Polarisation auf die Schieberstellung schon im Ganzen nur gering ist und es sich hier nur um eine kleine Abnahme dieses Einflusses handelt, so ist doch immerhin, da eine gewisse Grösse der inneren Polarisation ebensowohl durch einen schwächeren Strom in längerer Zeit wie durch einen stärkeren Strom in kürzerer Zeit herbeigeführt werden kann, auch daran zu denken, dass vielleicht die längere Dauer des Stromes in den Versuchen die Abnahme der Stromintensität in Bezug auf die Polarisation compensirt hat. Wie dem aber auch sein mag, so viel ist gewiss, dass die Abweichung der Curve der wahren Widerstandszunahme der Nervenstrecke von der Curve *ȮV* aus Anlass der in Rede stehenden Abnahme nur so unbedeutend sein kann, dass wir sie ganz vernachlässigen dürfen. Es würde die Abweichung übrigens im Wesentlichen darin bestehen, dass das Endstück der Curve der wahren Widerstandszunahme der Nervenstrecke um eine Spur rascher ansteigend, concaver gegen die Abscissenaxe sein würde als das Endstück der Curve *ȮV*.

Fassen wir Alles zusammen, so ergiebt sich nach Eliminirung der Fehlerquellen[1] aus der Curve *ȮV* die Curve *ȮsW* derselben Fig. 5. als die Curve der wahren Widerstandszunahme der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung: der Widerstand der durchströmten Nervenstrecke nimmt zuerst mit allmählich zunehmender und sodann mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit zu.

Unsere Ergebnisse stehen im Widerspruche zu den oben (Abschn. I. Kap. II. § 2.) aufgeführten Erfahrungen *du Bois-Reymond's*: wir haben secundären Widerstand — einen Zuwachs des Widerstandes durch den Strom — am Nerven auftreten sehen nicht nur trotz der Kochsalzlö-

1) Die Fehler der Versuche lassen sich als scheinbare Widerstandsveränderungen des Nerven in Folge der inneren Polarisation des Nerven und der Erwärmung des Vergleichswiderstandes graphisch darstellen und sind in der Fig. 5. — der Deutlichkeit wegen zu gross — durch die (gestrichelte) Curve *ȮP* gegeben. Die algebraische Subtraction der Ordinaten der Curve *ȮP* von den Ordinaten der Curve *ȮV* für jeden Punkt der Abscisse ergiebt dann die Curve *ȮsW*.

sung, welche den Strom dem Nerven zuleitete, sondern auch trotzdem, dass oft der Nerv von einem Strome durchflossen war, der nur einen Bruchtheil des Stromes einer einfachen Kette betrug. Es muss vorläufig dahingestellt bleiben, wodurch die abweichenden Erfahrungen *du Bois-Reymond's* veranlasst sind. Man wird aber ihretwegen schon nach der vorstehenden Darlegung nicht mehr gegen unsere Ergebnisse Bedenken hegen können, und jeder Schritt in der Folge wird nur einen Beweis für die Richtigkeit unserer Ergebnisse liefern.

§ 2. Die aufgefundenen Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung sind Folgen der Durchströmung.

Die Widerstandsveränderungen, welche wir im § 1 (2) kennen gelernt haben, sind dort stets nur als Veränderungen der durchströmten Nervenstrecke oder als Veränderungen der Nervenstrecke b e i ihrer Durchströmung hingestellt worden, so dass es zweifelhaft blieb, ob sie auch Folgen der Durchströmung sind. Diese Vorsicht war dadurch geboten, dass wir im Nerven ein mit der Zeit veränderliches Versuchsobject vor uns haben. Nach seiner Trennung vom lebenden Gesammtorganismus haben im Nerven chemische Umsetzungen statt, welche ihn bald rascher bald langsamer vom Leben zum Tode und vom Tode zur Fäulniss führen: und bei der innigen Beziehung, in welcher der Leitungswiderstand der Körper im Allgemeinen zu ihrer chemischen Constitution steht, kann es nicht gut anders sein, als dass jenen chemischen Veränderungen, welche der Nerv mit der Zeit erfährt, auch Widerstandsveränderungen des Nerven entsprechen. Diese Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit, wie wir sie fortan kurz nennen wollen, werden offenbar auch bei der Durchströmung des Nerven, die eine mehr oder weniger lange Zeit dauert, vor sich gehen, und die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke sind daher die algebraische Summe von zweierlei Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke, den Veränderungen in Folge der Durchströmung und den Veränderungen mit der Zeit.

So werthvoll nun auch die gewonnene Kenntniss der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke b e i ihrer Durchströmung für uns ist, so können wir doch bei ihr nicht stehen bleiben: vielmehr verlangt unser Vorhaben, mit Hülfe der Widerstandsveränderungen in die inneren Vorgänge im Nerven einzudringen, dass wir weiter auch die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke i n F o l g e der Durchströmung kennen lernen. Diese sind uns aber jetzt ohne Weiteres gegeben, sobald nur die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke mit der Zeit uns bekannt sind,

und es liegt daher die Aufgabe vor uns, die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit zu erforschen.

Theils formelle, theils und ganz besonders sachliche Gründe lassen uns von der Darlegung der betreffenden Untersuchung an dieser Stelle abstehen und sie für später (Kap. III. § 5.) aufsparen. Dort werden wir alsdann auch die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke mit der Zeit mit den Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke bei der Durchströmung vergleichen, um zu ermitteln, wie viel von den letzteren Veränderungen auf Rechnung der ersteren Veränderungen zu setzen ist. Hier nehmen wir aber als Ergebniss dieser Vergleichung vorauf, dass die im § 1 (2) festgestellten Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke ebenso wie alle anderen Widerstandsveränderungen bei der Durchströmung, welche wir in der Folge noch auffinden werden, bis wir an die Untersuchung der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit kommen, in der Genauigkeit, mit welcher wir sie constatirt haben resp. constatiren werden, zweifellos Folgen der Durchströmung sind.

Das Abkommen, welches wir nunmehr gewissermassen mit dem Leser treffen müssen, indem wir auf Grund dieses noch nicht bewiesenen Satzes in der Untersuchung weiterschreiten, — ein Abkommen, wie es übrigens bei den so verwickelten Untersuchungen der thierischen Theile gar häufig nothwendig ist, — wird man uns zu Gute halten in Rücksicht darauf, dass zu einer exacten Erforschung der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit eine ausgedehntere Kenntniss der Widerstandsveränderungen des Nerven bei der Durchströmung erforderlich ist, als wir sie zur Zeit besitzen. Es hat aber gerathener geschienen, auf diese Weise vorzugehen, als die aufgefundenen Widerstandsveränderungen vor der Hand ohne Weiteres als Folgen der Durchströmung anzusprechen, weil auch nicht im Entferntesten dem Verdachte Raum gegeben werden sollte, als seien die mit der Zeit vor sich gehenden Veränderungen vernachlässigt worden.

§ 3. Zurückführung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke in Folge der Durchströmung auf die inneren Vorgänge in dieser Nervenstrecke.

Nachdem wir so erfahren haben, dass die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke, welche wir im § 1 (2) kennen gelernt haben, Folgen der Durchströmung sind, wollen wir es versuchen, sie auf die inneren Vorgänge im Nerven zurückzuführen.

Unter den Vorgängen, welche in den feuchten porösen Körpern unter dem Einflusse des Stromes statthaben (s. Abschn. I. Kap. I.), ist nur ein einziger, von dem es feststeht, dass er stets zu einer Veränderung ihres

Widerstandes Anlass ist: es ist dies die Erwärmung der feuchten porösen Körper, die ihren Widerstand verringert.

Ein zweiter Vorgang, die Fortführung der Flüssigkeit im Innern der feuchten porösen Körper, vermehrt unter Umständen den Widerstand dieser Körper, indem er eine stellenweise Verarmung der Körper an Flüssigkeit herbeiführt. Unter welchen Umständen es zu einer stellenweisen Verarmung des feuchten porösen Körpers an Flüssigkeit kommt, ist bisher nur ungenügend bekannt und soll weiterhin uns noch beschäftigen: vor der Hand aber kümmern wir uns da, wo wir auf eine stellenweise Verarmung eines feuchten porösen Körpers an Flüssigkeit stossen, gar nicht weiter darum, welche Bedingungen der Flüssigkeitsfortführung es gewesen sind, die zur Verarmung geführt haben.

Danach haben wir aus der aufgefundenen Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke zu schliessen einmal, dass in Folge der Durchströmung eine stellenweise Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit eintritt, — sodann, dass die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit ihre Widerstandsabnahme in Folge der Erwärmung übertrifft, — endlich, dass schon verhältnissmässig schwache Ströme im Stande sind, eine bedeutende stellenweise Verarmung der durchströmten Nervenstrecke an Flüssigkeit herbeizuführen.

Weiter aber ergiebt sich noch aus der Curve $\dot{O}sW$, wenn auch zum Theil nur mit grosser Wahrscheinlichkeit, in welcher Weise die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke durch ihre stellenweise Verarmung an Flüssigkeit statthat. Nach dem zweiten der vorstehenden Schlüsse ist nämlich $\dot{O}sW$ die Summen-Curve der Curve der Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit und der Curve der Widerstandsabnahme derselben Strecke in Folge ihrer Erwärmung. Der Verlauf der Erwärmung der Nervenstrecke ist uns nun bekannt. Aus denselben Gründen, wie sie oben im § 1 (1) für die Zuleitungsröhren entwickelt sind, muss die Temperatur der Nervenstrecke von der Schliessung der Kette an mit abnehmender Geschwindigkeit bis zu einem Maximum zunehmen, und sie müsste auf diesem Maximum fernerhin verharren, wenn die Intensität des den Nerven durchfliessenden Stromes constant bliebe; da die Stromintensität aber in Folge der Widerstandszunahme der durchströmten Nervenstrecke kleiner wird, muss die Temperatur der Nervenstrecke, nachdem sie ein Maximum erreicht hat, von dem Maximum aus wieder abnehmen. Danach wird die Curve der Widerstandsabnahme der intrapolaren Nervenstrecke in Folge der Erwärmung im Wesentlichen die Gestalt der Curve $\dot{O}K$ der Fig. 5 haben. Nehmen wir nun an, jene Curve habe in dem speciellen Falle, für welchen die

Curve $\dot{O}sW$ der Fig. 5 die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke in Folge ihrer Durchströmung darstellt, auch genau die Gestalt der Curve $\dot{O}K$ derselben Figur, so ergiebt die algebraische Subtraction der Ordinaten der Curve $\dot{O}K$ von den Ordinaten der Curve $\dot{O}sW$ für jeden Punkt der Abscisse die Curve $\dot{O}A$ als Curve der Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit. Und von ähnlicher einfacher Gestalt ergiebt sich die letztere Curve, wenn man an Stelle der Curve $\dot{O}K$ eine andere Curve von im Wesentlichen gleicher Gestalt setzt, wofern nur, wenn die Maximalordinate dieser Curve grösser als die der Curve $\dot{O}K$ ist, auch die Abscisse dieser Ordinate grösser, und wenn ihre Maximalordinate kleiner als die der Curve $\dot{O}K$ ist, auch die Abscisse dieser Ordinate kleiner ist als die entsprechende Abscisse der Curve $\dot{O}K$: sie ergiebt sich dagegen in ihrem Anfangsstücke von complicirter Gestalt, wenn die eben angezeigte Bedingung nicht erfüllt ist. Da es nun durchaus nicht wahrscheinlich ist, dass in Folge der stellenweisen Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit der Widerstand dieser Strecke in einer verwickelten Weise wächst, so ist höchst wahrscheinlich $\dot{O}A$ die wahre Curve der Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit. Es nimmt also in Folge der stellenweisen Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit der Widerstand dieser Strecke — und zwar höchst wahrscheinlich sogleich von der Schliessung der Kette an — mit abnehmender Geschwindigkeit zu.

§ 4. Ueber die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke nach der Umkehrung der Stromrichtung.

In der Umkehrung der Stromrichtung während der Durchströmung des Nerven ist uns ein Mittel geboten, uns zu überzeugen, dass wir bei der Untersuchung des § 1 (2) durch die Fehlerquellen derselben nicht getäuscht worden sind. Wir wollen es nicht unterlassen, unsere Ergebnisse auch noch auf diese Weise zu sichern, um so weniger, als dabei noch werthvolle neue Erfahrungen zu gewinnen uns in Aussicht steht.

Kehren wir, nachdem der Strom einige Zeit den Nerven in der einen Richtung durchflossen hat, die Stromrichtung um, so wird mit dem Augenblicke der Umkehrung die bestehende innere Polarisation, welche bisher dem primären Strome entgegengesetzt gerichtet war, diesem Strome gleich gerichtet und muss daher, wie vorher eine scheinbare Vermehrung, nunmehr eine scheinbare Verminderung des Widerstandes des Nerven bedingen. Weiter aber muss, weil die zuerst vorhandene innere Polarisation nach dem Wechsel der Stromrichtung anfangs rasch, dann langsamer sich

zerstreut und schliesslich die der neuen Stromrichtung entsprechende innere Polarisation auftritt, in Folge der inneren Polarisation der Widerstand des Nerven vom Wechsel der Stromrichtung an mit abnehmender Geschwindigkeit zu wachsen scheinen. Und da in der Erwärmung der Capillarröhre eine Veränderung unmittelbar durch die Umkehrung der Stromrichtung nicht eintritt, wird also die Folge der Fehlerquellen unserer Versuche die sein, dass der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke unmittelbar nach der Umkehrung verringert und sodann mit abnehmender Geschwindigkeit im Wachsen begriffen erscheinen wird, bis wiederum die neue Polarisation ihr Maximum erreicht hat.

Unsere Zuleitungsröhren geben uns Gelegenheit, die Richtigkeit des eben Erörterten experimentell festzustellen. Ihr Widerstand wächst zwar nicht bei der Durchströmung, wie der des Nerven: seine Abnahme aus anderen Gründen erscheint aber in Folge der inneren Polarisation kleiner, als sie in Wahrheit ist [s. § 1 (1)]. Dass bei den Versuchen an den Zuleitungsröhren an Stelle der Capillarröhre die Drahtrollen des *Siemens*'schen Rheostaten den Vergleichswiderstand abgeben, ist natürlich ohne jeden Belang.

Versuch 8.

(Fortsetzung von Versuch 1. § 1 [1].)

.

12*h*.	17 *m*.	626.	Sofort W i p p e *B* u m g e l e g t, so dass Stromeintritt bei *z*. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 85^0 aus. Der Widerstand nimmt zu.
	18 *m*.	617	(etwas weniger) } Der Unterschied beträgt c. 1^{mm}.
	22 *m*.	617	(etwas mehr) } Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
	24 *m*.		von wo an er abnimmt.
	39 *m*.	616.	
	56 *m*.	615.	Sofort *K* g e ö f f n e t. Die Nadel schlägt, Strom von *z* nach z_1 anzeigend, um 8^0 aus.
12*h*.	57 *m*.	*K* g e s c h l o s s e n.	
1 *h*.	20 *m*.	613.	
	35 *m*.	612.	Sofort *K* geöffnet. Die Nadel schlägt, Strom von z_1 nach *z* anzeigend, um 1$^1/_2{}^0$ aus.

Was wir vorausgesehen haben, ist also wirklich eingetroffen. Nur macht das scheinbare Anwachsen des Widerstandes in Folge der inneren

Polarisation des Thones sehr bald nach der Umkehrung der Stromrichtung Platz der Abnahme des Widerstandes in Folge des Eindringens der concentrirten Zinkvitriollösung in den Thon, welches wir vorhin nicht in Betracht gezogen haben. Die dem Stücke $t_1 t$ der Abscissenaxe entsprechende zweite Hälfte der Fig. 4. erspart uns jede weitere Erörterung. Bei t_1 wird die Stromrichtung umgekehrt; $\Pi\Pi_1$ ist die Curve der durch die innere Polarisation, CC_1 die Curve der durch die Erwärmung, endlich DD_1 die Curve der durch die Flüssigkeitsfortführung (und die Diffusion) nach der Umkehrung der Stromrichtung herbeigeführten Schieberverstellungen[1]; und aus der algebraischen Summirung der Ordinaten dieser drei Curven für jeden Punkt der Abscisse ergiebt sich die Curve $\Sigma\Sigma_1$ als die Curve der nach der Umkehrung im Versuche wirklich erforderlichen Schieberverstellungen.

Dass die scheinbare Zunahme des Widerstandes in den Versuchen zur Beobachtung kommt, verdanken wir übrigens nur dem glücklichen Verhältnisse, in welchem bei unseren Zuleitungsröhren die Polarisation und das Eindringen der Zinklösung die Schieberstellung beeinflussen. Wäre der Einfluss der ersteren kleiner oder der des letzteren grösser, so würde, wie man leicht übersieht, nicht jene Zunahme, sondern nur die anfängliche Beschleunigung der Abnahme des Widerstandes den Einfluss der Polarisation in den Versuchen verrathen.

Wie die Sache aber nun eben günstig liegt, verschaffen uns die Versuche noch Aufschluss über die Grösse der Schieberverstellung, welche in den Versuchen des § 1 (1) durch die innere Polarisation veranlasst ist. Zwar lässt sich unmittelbar nach der Umkehrung der Stromrichtung der scheinbare Widerstand der Zuleitungsröhren nicht bestimmen, allein der 1 Minute nach der Umkehrung gemachten Bestimmung im Verein mit dem Umstande, dass in der ersten Minute nach der Umkehrung eine scheinbare Zunahme des Widerstandes stattgefunden hat, ist zu entnehmen, dass jenem Widerstande die Schieberstellung von 615 bis 616 entsprochen hat. Die halbe Differenz dieser Schieberstellung und der unmittelbar vor der Umkehrung der Stromrichtung erforderlichen von 626 — also c. 5^{mm} — ist dann die Grösse der Schieberverstellung, welche in unserem Versuche 1. durch die innere Polarisation herbeigeführt war. Und indem diese Bestimmung mit unserer früheren (s. o. S. 36.) übereinstimmt, haben wir durch die Umkehrung der Stromrichtung einen erfreulichen Beweis gewonnen für die Richtigkeit der Methode, nach welcher wir oben in den Versuchen des § 1. den Einfluss der inneren Polarisation bestimmt haben.

Gehen wir nunmehr zu den Versuchen am Nerven über.

1) Vgl. o. S. 38. Anm. (3).

Versuch 9.

Wd: 99 Meilen T.-D. des *Siemens*'schen Rheostaten. — *K*: 4 Grove's. — Stromeintritt bei z_1.

11 *h*. 28 *m*. Acht Ischiadici von 4 kleinen Fröschen, welche kurz vorher getödtet sind, auf die Zuleitungsröhren gelegt.

Die Nadel nimmt, Strom von z nach z_1 anzeigend, constante Ablenkung von 3° an (Nervenstrom).

11 *h*. 36 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 1100.

Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, an die Hemmung. Der Widerstand nimmt rasch zu.

37 *m*. 1070.
38 *m*. 1095.
39 *m*. 1120.
40 *m*. 1145.
42 *m*. 1182.
44 *m*. 1210.
46 *m*. 1221.
48 *m*. 1231.
53 *m*. 1240.
58½ *m*. 1245.

12 *h*. 3 *m*. 1250. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei z.

Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, an die Hemmung, der Widerstand nimmt ab.

4 *m*. 1070.
5 *m*. 1050.
6 *m*. 1041.
7 *m*. 1038.
11 *m*. 1030. Der Widerstand nimmt jetzt noch spurweise ab bis
13 *m*. von wo an er zunimmt.
19 *m*. 1035.
23 *m*. 1040. — Empfindlichkeitsprüfung: Der Verschiebung von *S* um 5^{mm} entspricht constante Ablenkung der Nadel von c. 30°.
30 *m*. 1050.
37 *m*. 1060.
50 *m*. 1080.
59 *m*. 1090.

1 *h*.	7	*m*.	1100.	
	17	*m*.	1110.	
	28	*m*.	1120.	
	43	*m*.	1130.	
	60	*m*.	1137.	Der Widerstand nimmt jetzt ab[1].
2 *h*.	13	*m*.	1132.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei z_1. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, an die Hemmung. Der Widerstand nimmt ab.
	14	*m*.	1080.	
	15	*m*.	1062.	
	16	*m*.	1053.	
	17	*m*.	1045.	
	20	*m*.	1033.	
	24	*m*.	1024.	
	29	*m*.	1015.	
	40	*m*.	1005.	
	48	*m*.	1000.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *z*. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 34° aus. Der Widerst. nimmt zu.
	49	*m*.	992.	
	51	*m*.	995.	
	56	*m*.	1000.	Sofort *K* geöffnet. Die Nadel schlägt, Strom von *z* nach z_1 anzeigend, um 4° aus.

Die acht Ischiadici waren mit ihren Plexus- und Muskel-Enden abwechselnd nach verschiedenen Seiten gerichtet aufgelegt. $ab = 13^{mm}$; $br = 15^{mm}$; $al = 10^{mm}$.

Versuch 10.

Wd: Capillarröhre II. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei *z*.

11 *h*.	20	*m*.	Mittelgrosser Frosch ††.
	28	*m*.	Ischiadicus aufgelegt.
	43	*m*.	*K* geschlossen. Schieber auf 700. Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 8° aus. Der Widerstand nimmt zu.
	44	*m*.	780.

1) S. hierüber unten § 6.

11 *h.*	47 *m.*	790.	
	50½ *m.*	800.	
	54 *m.*	810.	
	58 *m.*	820.	
12 *h.*	2½ *m.*	830.	
	7½ *m.*	840.	
	12 *m.*	850.	
	16½ *m.*	860.	
	21 *m.*	870.	
	26 *m.*	880.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei z_1. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 32° aus. Der Widerst. nimmt ab.
	27 *m.*	850.	
	29 *m.*	845.	
	33 *m.*	841.	Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
	36 *m.*		von wo an er zunimmt.
	46 *m.*	850.	
	54 *m.*	860.	
1 *h.*	2 *m.*	870.	
	9 *m.*	880.	
	16 *m.*	890.	
	22½ *m.*	900.	
	30 *m.*	910.	
	37 *m.*	920.	
	44 *m.*	930.	
	51 *m.*	940.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *z*. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 18° aus. Der Widerst. nimmt ab.
	52 *m.*	910.	
	53 *m.*	900.	
	55 *m.*	885.	
	57 *m.*	880.	
2 *h.*	1 *m.*	877.	Der Widerstand nimmt jetzt zu.
	7 *m.*	880.	
	20 *m.*	890.	
	30 *m.*	900.	
	39 *m.*	910.	
	48 *m.*	920.	
	58 *m.*	930.	

3 *h.* 8 *m.* 940.
18 *m.* 950. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei z_1.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 22° aus. Der Widerst. nimmt ab.
19 *m.* 928.
21 *m.* 925.
24 *m.* 924. Der Widerstand nimmt jetzt zu.
28 *m.* 930.
34 *m.* 940.
41 *m.* 950. Sofort *K* geöffnet.
Die Nadel schlägt, Strom von *z* nach z_1 anzeigend, um c. ⅓° aus.

Der Ischiadicus war fast in seiner ganzen Länge erhalten, vom Muskel aber getrennt. $ab = 8^{mm}$; $al = 10^{mm}$; $bo = 4^{mm}$; $bw = 20^{mm}$.

Versuch 11.

Wd: Capillarröhre II. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei *z*.

11 *h.* 22 *m.* Kleiner Frosch ††.
30 *m.* Ischiadicus aufgelegt.
45 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 800.
Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 8° aus. Der Widerstand nimmt zu.
46½ *m.* 881.
49 *m.* 890.
53 *m.* 900.
59 *m.* 910.
12 *h.* 8 *m.* 920.
22 *m.* 930.
47 *m.* 934. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei z_1.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 60° aus. Der Widerst. nimmt ab.
48 *m.* c. 900.
49½ *m.* 890.
52 *m.* 880.
57 *m.* 870.
1 *h.* 3 *m.* 860.
8 *m.* 855.
16 *m.* 850.

1 *h.*	28 *m.*	845.	Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
2 *h.*	16 *m.*		wo Wippe *B* umgelegt wird, so dass Stromeintritt wieder bei *z*. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 40^0 aus. Der Widerst. nimmt ab.
	18 *m.*	832.	
	20 *m.*	830.	Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
	25 *m.*		wo *K* geöffnet wird. Die Nadel schlägt, Strom von *z* nach z_1 anzeigend, um c. $\frac{1}{2}^0$ aus.

Der Ischiadicus war fast in seiner ganzen Länge erhalten, vom Muskel aber getrennt. $ab = 7^{mm}$; $bo = 5^{mm}$; $br = 14^{mm}$; $al = 13^{mm}$.

Versuch 12.

Wd: Capillarröhre II. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei *z*.

8 *h.*	29 *m.*		Mittelgrosser Frosch ††.
	37 *m.*		Ischiadicus auf die Zuleitungsröhren gelegt.
	39 *m.*		*K* geschlossen. Schieber auf 750. Der Spiegel schlägt, viel grösseren Widerstand anzeigend, aus.
	$39\frac{1}{4}$ *m.*	945.	Der Widerstand nimmt zu.
	40 *m.*	1015.	
	41 *m.*	1057.	
	42 *m.*	1082.	
	43 *m.*	1103.	
	44 *m.*	1119.	
	45 *m.*	1133.	
	46 *m.*	1146.	
	47 *m.*	1157.	
	48 *m.*	1167.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei z_1.
	$48\frac{1}{4}$ *m.*	1080.	Der Widerstand nimmt ab.
	49 *m.*	1030.	
	50 *m.*	1000.	
	51 *m.*	977.	
	52 *m.*	965.	
	54 *m.*	951.	
	56 *m.*	948.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *z*.
	$56\frac{1}{4}$ *m.*	946.	Der Widerstand nimmt zu.

8 *h*. 57	*m*.	954.	
58	*m*.	971.	
59	*m*.	998.	
9 *h*. 1	*m*.	1041.	
3	*m*.	1073.	
5	*m*.	1093.	Sofort *K* geöffnet.
			Der Spiegel bleibt unbewegt.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 8^{mm}$; $bo = 6^{mm}$; $bw = 38^{mm}$; $am = 13^{mm}$. — Nach Beendigung des Versuches ist der Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Zunächst und vor Allem zeigen die Versuche 10., 11. u. 12, dass die Schieberverstellung im Sinne einer Widerstandsvermehrung, welche in den Versuchen des § 1 (2) erforderlich war, nur zu einem ganz unbeträchtlichen Theile durch die innere Polarisation veranlasst gewesen ist. Weder eine scheinbare Zunahme, noch selbst nur eine Beschleunigung der Abnahme des Widerstandes ist nach der Umkehrung der Stromrichtung zur Beobachtung gekommen. Und wenn wir auch hierauf gar kein Gewicht legen wollten deshalb, weil gegen die grosse Abnahme, welche der Widerstand aus vor der Hand unbekannten Gründen nach der Umkehrung erfährt, die scheinbare Zunahme desselben in Folge der Polarisation verschwinden könnte, so geht doch die Bedeutungslosigkeit der inneren Polarisation ganz unzweifelhaft daraus hervor, dass die Schieberstellung unmittelbar vor der (ersten) Umkehrung der Stromrichtung und die Schieberstellung $1/4$ resp. 1 Minute nach der Umkehrung nur wenig von einander differiren, obwohl in der Zwischenzeit dieser beiden Schieberstellungen der Widerstand schon beträchtlich abgenommen hat und überdies nur die Hälfte der Differenz der beiden Schieberstellungen unmittelbar vor und unmittelbar nach der Umkehrung nach dem am Eingange dieses § Erörterten die Schieberverstellung angiebt, welche durch die Polarisation vor der Umkehrung veranlasst war.

Selbst unter ungünstigeren Bedingungen, als bei den Versuchen des § 1 (2), stellt sich durch die Umkehrung der Stromrichtung leicht heraus, wie die Widerstandszunahme bei der Durchströmung auch hier keineswegs eine scheinbare, durch die Polarisation bedingte ist. Dies zu zeigen, ist oben Versuch 9. hingestellt. Ueberbrückt man nämlich die Zuleitungsröhren mit mehreren Nerven, so wächst mit der Zahl der Nerven wohl der Einfluss der Polarisation beträchtlich, die in Wahrheit eine Zunahme des Widerstandes bedingenden Einflüsse wachsen aber nur zum Theil und nehmen zum grösseren Theile sogar ab (s. u. Kap. III. § 1—3; § 3 Schluss).

Trotzdem würde sich in unserem Versuche 9., der an 8 Nerven angestellt ist, die durch die Polarisation herbeigeführte Schieberverstellung nur auf c. 70^{mm} berechnen, während vor der Umkehrung eine Verstellung des Schiebers um mindestens 180^{mm} erforderlich war.

Hält man die Versuche 10., 11. u. 12. mit den Versuchen des § 1 (2) zusammen, so gewinnt man auch sofort die Ueberzeugung, dass unsere dortige Methode, den durch die Polarisation in die Versuche eingeführten Fehler zu berechnen, zu sicheren Ergebnissen führte. Und somit ist der Zweck, welchen wir zunächst bei den Versuchen hier im Auge hatten, erreicht: wir wollen nunmehr aber die Veränderungen, welche der Widerstand des Nerven nach der Umkehrung der Stromrichtung erfährt, an und für sich noch genauer betrachten.

Berechnen wir für unsere Versuche nach jeder einzelnen Schieberstellung den Widerstand des Nerven zu der betreffenden Zeit, so ist das unmittelbare Ergebniss der Versuche folgendes: Der Widerstand der durchströmten Nervenstrecke wird, wenn er bei der Durchströmung des Nerven in der einen Richtung einige Zeit gewachsen ist, nach der Umkehrung der Stromrichtung mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit kleiner, erreicht so ein Minimum und nimmt von diesem Minimum aus zuerst mit allmählich zunehmender, später mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit wieder zu; die letztere Zunahme des Widerstandes erfolgt aber im Ganzen stets mit geringerer Geschwindigkeit als die Zunahme vor der Umkehrung der Stromrichtung.

Durch die Berichtigung der Fehler der Versuche erfährt dieses unmittelbare Versuchsergebniss keine irgend wesentliche Veränderung. Die Widerstandsveränderungen der Zuleitungsröhren sind wiederum so gering, dass sie sich ganz vernachlässigen lassen. Dasselbe gilt von den Veränderungen des Vergleichswiderstandes in Folge der geringen Schwankungen seiner Temperatur. Und was die innere Polarisation des Nerven (und der Zuleitungsröhren) betrifft, so muss sie nach dem am Eingange dieses § Erörterten die Versuche in der Weise beeinflussen, dass sie die anfängliche Widerstandsabnahme etwas zu wenig steil, das Minimum des Widerstandes — je nachdem die Polarisation zur Zeit desselben noch dem primären Strome gleich gerichtet oder schon ihm entgegengesetzt gerichtet ist[1] — ein wenig zu klein oder zu gross, endlich die schliessliche Zunahme des Widerstandes etwas zu steil erscheinen lässt. Danach wird, wenn die

1) In den allermeisten Fällen und zwar stets dann, wenn das Minimum des Widerstandes nicht erst sehr spät nach der Umkehrung der Stromrichtung eintritt, ist, wie ich sehr häufig durch Oeffnung der Kette mich überzeugt habe, zur Zeit des Minimums der Strom der inneren Polarisation dem neuen primären Strome noch gleich gerichtet.

(gestrichelte) Curve $V_1\,s_1\,V_2$ in der zweiten Hälfte der Figur 5. nach den Versuchen die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke nach der Umkehrung der Stromrichtung, welche bei t_1 der Abscissenaxe erfolgt, darstellt, die Curve der wahren Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke nach der Umkehrung der Stromrichtung die Curve $Ws_1\,W_1$ sein[1].

Ueber das Verhältniss der Abnahme des Widerstandes nach der Umkehrung der Stromrichtung zur Zunahme des Widerstandes vor der Umkehrung lässt sich als allgemeingültig das hinstellen, dass die Abnahme desto grösser ist und desto später der neuen Zunahme Platz macht, je mehr vorher bei der Durchströmung der Widerstand gewachsen war und je länger dieses Wachsen gedauert hatte. Es ist also die Abnahme des Widerstandes nach der Umkehrung desto kleiner und desto kürzer einmal bei gleich grosser Widerstandszunahme vor der Umkehrung, je rascher der Widerstand zugenommen hat, und wiederum bei gleich langer Dauer der Widerstandszunahme vor der Umkehrung, je mehr der Widerstand zugenommen hat. Je kleiner und kürzer die Abnahme des Widerstandes ist, desto grösser ist unter sonst gleichen Umständen sodann im Ganzen die Geschwindigkeit, mit welcher die neue, der Abnahme nachfolgende Widerstandszunahme statthat.

Aus dem Gesagten folgt, dass, wenn der Strom in der ursprünglichen Richtung nur kurze Zeit den Nerven durchfliesst und dabei die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke sehr rasch erfolgt, die Widerstandsabnahme nach der Umkehrung der Stromrichtung innerhalb der kurzen Zeit bis zur ersten Bestimmung des Widerstandes ganz vorübergehen kann. Zwei Beispiele hierfür liefern die Versuche 13. u. 14., welche wir später auch in anderer Beziehung von Interesse für uns finden werden: in beiden Versuchen fällt die Abnahme des Widerstandes in die erste Minute nach der Umkehrung der Stromrichtung.

Versuch 13.

[Fortsetzung von Vers. 5. § 1 (2)].

.

10 *h*. 13 *m*. *K* geschlossen. Schieber steht auf 1380.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 63° aus. Der Widerstand nimmt rasch zu.
15 *m*. 1370.
20 *m*. 1373. Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis

1) Die (gestrichelte) Curve $H_1\,H$ entspricht für die zweite Hälfte der Fig. 5. der Curve $\acute{O}P$ in der ersten Hälfte derselben Figur. S. o. S. 50. Anm.

10 *h.* 25 *m.* wo *K* geöffnet wird.

Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um fast 5^0 aus und nimmt constante Ablenkung von c. $2\frac{1}{2}^0$ an, die bis 11 *h.* 31 *m.* auf c. $\frac{1}{2}^0$ abnimmt.

11 *h.* 31 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 1100.

Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 12^0 aus. Der Widerstand nimmt rasch zu.

32 *m.* 1150.

34 *m.* 1215.

36 *m.* 1230.

38 *m.* 1237. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei z.

Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, an die Hemmung. Der Widerstand nimmt ab.

39 *m.* 1020. Der Widerstand nimmt jetzt zuerst vielleicht noch etwas ab, sodann aber zu.

41 *m.* 1050.

42 *m.* 1070.

43 *m.* 1085.

45 *m.* 1105.

48 *m.* 1115.

56 *m.* 1140.

12 *h.* 3 *m.* 1155. Sofort *K* geöffnet.

Die Nadel nimmt, Strom von z_1 nach z anzeigend, constante Ablenkung von 4^0 an.

Versuch 14.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei z_1.

Der Schenkel, welchem der Nerv entnommen wird, gehört einem drei Tage vorher 10 *h.* 53 *m.* getödteten mittelgrossen Frosche an und ist bisher enthäutet im feuchten Raume aufbewahrt worden. Der Schenkel ist ganz faulig, die Muskeln zerfliessen. Der eben herauspräparirte Nerv ist trüber und von grösserer Consistenz als ein frischer Nerv (s. u. Kap. III. § 5 [3]).

9 *h.* 13 *m.* Ischiadicus auf die Zuleitungsröhren gelegt.

19 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 750.

Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, heftig an die Hemmung. Der Widerstand nimmt rasch zu.

20 *m.* 1430 (etwas mehr).

9*h*.	21 *m*.	1470.	
	22 *m*.	1485.	
	23½ *m*.	1490.	Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
	30 *m*.		wo Wippe *B* umgelegt wird, so dass Stromeintritt bei *z*. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, heftig an die Hemmung. Der Widerstand nimmt während des ersten Einstellens des Schiebers ab.
	31 *m*.	800	(ohngefähr). Der Widerstand nimmt jetzt zu.
	32 *m*.	810.	
	33½ *m*.	820.	
	35 *m*.	830.	
	36 *m*.	840.	
	37 *m*.	850	(etwas mehr).
	38 *m*.	860.	
	39 *m*.	870.	
	40 *m*.	880.	
	42 *m*.	900.	
	44½ *m*.	920.	
	46½ *m*.	940.	
	49 *m*.	960.	
	51½ *m*.	980.	
	54 *m*.	1000.	
	57 *m*.	1020	(Spur mehr).
	59½ *m*.	1040.	— Empfindlichkeitsprüfung: der Verschieb. v. *S* um 10^{mm} entspr. const. Ablenk. d. Nadel v. 3^0.
10*h*.	2½ *m*.	1060.	
	5½ *m*.	1080.	
	8½ *m*.	1100.	
	11½ *m*.	1120.	
	15½ *m*.	1140.	
	19½ *m*.	1160.	
	23½ *m*.	1180.	
	28½ *m*.	1200.	
	35 *m*.	1220.	
	43 *m*.	1240.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei z_1. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, an die Hemmung. Der Widerstand nimmt ab.

	45 m.	885.	
	46 m.	875.	
	48 m.	870.	Der Widerstand nimmt jetzt zu.
	52 m.	880.	
	55 m.	890.	
	58 m.	900.	
11 h.	4 m.	920.	
	12 m.	940.	
	20 m.	960.	
	29 m.	980.	
	37½ m.	1000.	
	51 m.	1020.	
12 h.	5 m.	1040.	
	24 m.	1060.	
	46 m.	1080.	
1 h.	13 m.	1100.	Sofort *K* geöffnet.
			Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um 22° aus.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 6{,}5^{mm}$; $bo = 10{,}5^{mm}$; $bw = 40^{mm}$; $am = 14$—15^{mm}.

Kehrt man während der Durchströmung des Nerven die Stromrichtung wiederholt um, so wiederholt sich nur bei jeder neuen Umkehrung, was für die erste Umkehrung der Stromrichtung eben besprochen worden ist (vgl. Vers. 9, 10, 11, 12 u. 14). Besonders bemerkenswerth sind nur die Fälle, in welchen der neue Wechsel der Stromrichtung statthat, während der Widerstand des Nerven in Folge der zuletzt voraufgegangenen Umkehrung der Stromrichtung noch in der Abnahme begriffen ist (vgl. Vers. 9, 11 u. 12). Dauert nämlich diese Abnahme schon lange an, so tritt nach dem Wechsel der Stromrichtung öfters wiederum eine, wenngleich nur kurze und nicht beträchtliche Abnahme des Widerstandes auf; dauert sie dagegen erst kurze Zeit an, so nimmt der Widerstand der durchströmten Nervenstrecke sogleich nach dem Wechsel der Stromrichtung zu, oder es ist wenigstens die der neuen Zunahme voraufgehende Abnahme des Widerstandes von nur so kurzer Dauer, dass sie nach Ablauf der Zeit, welche zur ersten Bestimmung des Widerstandes nach dem Wechsel erforderlich ist, nicht weiter zur Beobachtung kommt.

§ 5. Zurückführung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke durch den Strom in umgekehrter Richtung auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke.

Die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke, welche wir im vorigen § kennen gelernt haben, sind nach § 2. Folgen der Durchströmung. Versuchen wir nun, sie auf die inneren Vorgänge in der intrapolaren Nervenstrecke zurückzuführen, so kann von den beiden Vorgängen, welche in den feuchten porösen Körpern unter dem Einflusse des Stromes statthaben und zu einer Veränderung ihres Widerstandes Anlass sind, zunächst nur der eine in Betracht kommen, die Fortführung der Flüssigkeit im Nerven. Denn die Temperatur des Nerven war zur Zeit der (ersten) Umkehrung der Stromrichtung, welche in unseren Versuchen oft erst nach längerer Durchströmung des Nerven erfolgte, in Folge der durch die Widerstandszunahme des Nerven bedingten Abnahme der Intensität des den Nerven durchfliessenden Stromes bereits in der Abnahme begriffen, und sie wird dann auch nach der Umkehrung der Stromrichtung eben wiederum nur mittelbar durch Widerstandsveränderungen des Nerven in Folge der Flüssigkeitsfortführung eine Veränderung erfahren haben können. Es muss also die anfängliche Abnahme des Widerstandes nach der Umkehrung der Stromrichtung und, da diese Abnahme nur ein den Widerstand verringerndes Wachsen der Temperatur bedingt, gewiss auch die der Abnahme nachfolgende Zunahme des Widerstandes in der Flüssigkeitsfortführung durch den Strom begründet sein.

Der Strom in der ursprünglichen Richtung hatte eine stellenweise Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit herbeigeführt und dadurch den Widerstand der Nervenstrecke vermehrt: der Strom in der umgekehrten Richtung, haben wir nunmehr zu schliessen, führt den vorher an Flüssigkeit verarmten Stellen der Nervenstrecke Flüssigkeit wieder zu und vermindert dadurch den Widerstand der Nervenstrecke, lässt aber auch Stellen der Nervenstrecke an Flüssigkeit wieder verarmen und vermehrt so den Widerstand der Nervenstrecke von Neuem.

Dieser Schluss lässt es unentschieden, ob es dieselben oder verschiedene Stellen der Nervenstrecke sind, welche nach der Umkehrung der Stromrichtung an Flüssigkeit abnehmen und zunehmen. In der That lassen sich auch die nach der Umkehrung beobachteten Widerstandsveränderungen eben so gut erklären durch die Annahme, dass die durch den Strom in der ursprünglichen Richtung an Flüssigkeit verarmten Stellen durch den Strom in der umgekehrten Richtung zuerst Flüssigkeit gewinnen und später wieder Flüssigkeit verlieren, wie durch die andere Annahme, dass die Flüssigkeitszunahme und die Flüssigkeitsabnahme nach

der Umkehrung verschiedene Stellen der Nervenstrecke betreffen und nur beide in verschiedener Weise so erfolgen, dass der Widerstand der Nervenstrecke rascher nach der Umkehrung verändert wird durch die Flüssigkeitszunahme der einen als durch die Flüssigkeitsabnahme der anderen Stellen. Es fällt uns aber nicht schwer, zwischen beiden Möglichkeiten zu entscheiden. Bei wiederholter Umkehrung der Stromrichtung wiederholt sich, auch was die Fortführung der Flüssigkeit betrifft, immer nur, was für die erste Umkehrung eben besprochen worden ist. Wir haben nun, wenn wir zum zweiten Male die Stromrichtung wechselten zur Zeit, als noch der Widerstand der Nervenstrecke in der Abnahme begriffen war, in den Fällen, in welchen die Abnahme des Widerstandes dann schon längere Zeit angedauert hatte, nach der Umkehrung der Stromrichtung öfters wiederum eine Abnahme des Widerstandes auftreten sehen. Danach muss vorher schon während der Abnahme des Widerstandes eine stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit stattgefunden haben, es müssen also Flüssigkeitszunahme und Flüssigkeitsabnahme nach der Umkehrung der Stromrichtung neben einander hergehen und somit auch verschiedene Stellen der Nervenstrecke betreffen.

Auf Grund dieser Erfahrung giebt die zweite Hälfte der Fig. 5. die Zergliederung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke, welche nach der Umkehrung der Stromrichtung durch den Strom herbeigeführt sind.

$t_1\ s_1\ s_2\ A_1$ ist die Curve der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge ihrer neuen stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit. Sie hat von der Curve $\dot{O}A$ zwiefach abweichend angenommen werden müssen. Einmal ist ihr Anfangsstück, weil die Stromintensität nach der Umkehrung der Stromrichtung nicht, wie nach der Schliessung der Kette, von vorn herein abnimmt, sondern zuerst in Folge der Widerstandsabnahme der Nervenstrecke zunimmt und erst später abnimmt, convex gegen die Abscissenaxe auf Grund dessen, dass die Flüssigkeitsfortführung mit der Stromintensität wächst [s. Absch. I. Kap. I. § 2 (2—4)]. Und zweitens ist ihr Endstück weniger concav gegen die Abscissenaxe, die Curve $t_1\ s_1\ s_2\ A_1$ überhaupt im Ganzen weniger steil als die Curve $\dot{O}A$ auf Grund unserer Erfahrung, dass die Widerstandszunahme der Nervenstrecke nach der Umkehrung der Stromrichtung im Ganzen stets mit geringerer Geschwindigkeit erfolgt als vor der Umkehrung; — einer Erfahrung, welche schlechterdings keine andere Deutung zulässt, als dass die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit nach der Umkehrung langsamer vor sich geht als vor der Umkehrung.

KK_1 ist die Curve der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Erwärmung: es sind diese durch die Veränderungen veran-

lasst, welche die Stromintensität in Folge der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke erfährt.

Endlich ist As_2R die Curve der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Flüssigkeitsrückkehr zu den vor der Umkehrung der Stromrichtung an Flüssigkeit verarmten Stellen.

Summirt man algebraisch die Ordinaten der drei Curven $t_1s_1s_2A_1$, KK_1 und As_2R für jeden Punkt der Abscisse, so erhält man die Curve WW_1.

§ 6. Fortgesetzte Untersuchung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung in Einer Richtung.

In den Versuchen des § 1 (2) hatten wir der Dauer der Durchströmung willkürlich ziemlich früh eine Grenze gesetzt: wir hatten die Versuche spätestens dann abgebrochen, wenn die Geschwindigkeit, mit welcher der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke wuchs, schon sehr abgenommen hatte, von der Vorstellung geleitet, dass der Widerstand ganz allmählich der Constanz sich nähern würde. Jetzt liegt es uns ob, unseren Versuchen eine längere Ausdehnung zu geben: wir werden dabei jene Vorstellung unrichtig finden und zu unerwarteten neuen Erfahrungen gelangen.

Versuch 15.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei z_1.

1 *h*.	39 *m*.	Mittelgrosser Frosch ††.	
	44 *m*.	Ischiadicus aufgelegt.	
	48 *m*.	*K* geschlossen. Schieber auf 700. Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 30° aus. Der Widerstand nimmt zu.	
	49½ *m*.	733.	
	51 *m*.	740.	
	52¼ *m*.	750.	
	53½ *m*.	760.	
	54½ *m*.	770.	
	55½ *m*.	780.	
	57 *m*.	790.	
	58 *m*.	800.	
	59 *m*.	810.	
2 *h*.	½ *m*.	820.	
	2½ *m*.	840.	
	6 *m*.	860.	

2 *h.*	10 *m.*	880.	Empfindlichkeitsprüfung: der Verschiebung des Schiebers um 10^{mm} entspricht const. Ablenkung der Nadel von c. 4^0.
	16½ *m.*	900.	
	20 *m.*	c. 905.	Der Widerstand nimmt jetzt ab.
	25 *m.*	900.	
	33 *m.*	890.	
	39 *m.*	880.	
	43 *m.*	870.	
	47½ *m.*	860.	
	53 *m.*	850.	
	57½ *m.*	840.	
3 *h.*	1½ *m.*	830.	
	7 *m.*	820.	
	12 *m.*	810.	
	17 *m.*	800.	
	21 *m.*	795.	Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
	26 *m.*		von wo an er zunimmt.
	35 *m.*	800.	
	46 *m.*	805.	
	52 *m.*	810.	
	57 *m.*	815.	
4 *h.*	½ *m.*	820.	
	4½ *m.*	825.	
	10 *m.*	830.	
	15 *m.*	835.	
	24 *m.*	840.	
	33 *m.*	845.	
	41 *m.*	850.	
	57 *m.*	855.	
5 *h.*	9 *m.*	858.	Sofort *K* geöffnet. Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um 20^0 aus.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 4{,}5^{mm}$; $bo = 7^{mm}$; $bw = 33^{mm}$; $am = 17^{mm}$.

Die untersuchte Stelle des Nerven ist während der Durchströmung abgestorben.

Versuch 16.

Wd: Capillarröhre II. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei z_1.

Der Schenkel, welchem der Nerv entnommen wird, gehört einem vor drei Tagen im Topfe gestorbenen mittelgrossen Frosche an und ist bisher enthäutet im feuchten Raume aufbewahrt worden. Die Musculatur sieht weisslich aus. Die Oberschenkelmuskeln sind schon faulig, nicht aber die Unterschenkelmuskeln.

7 *h*.	7 *m*.		Ischiadicus aufgelegt.
	20 *m*.		*K* geschlossen. Schieber auf 900. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, langsam um 4° aus. Der Widerstand nimmt ab[1].
	21 *m*.	c. 860.	
	23 *m*.	845.	Der Widerstand nimmt jetzt zu.
	25 *m*.	850.	
	29 *m*.	860.	
	33 *m*.	870.	
	37 *m*.	880.	
	41 *m*.	890.	
	45 *m*.	900.	
	48½ *m*.	910.	
	52½ *m*.	920.	
	56½ *m*.	930.	
8 *h*.	1 *m*.	940.	
	6 *m*.	950.	
	11½ *m*.	960.	Empfindlichkeitspr.: der Verschiebung von *S* um 10mm entspr. const. Ablenk. der Nadel von fast ¾°.
	18 *m*.	970.	
	26 *m*.	980.	
	36 *m*.	990.	
	48 *m*.	1000.	
9 *h*.	2 *m*.	1010.	
	14 *m*.	1017.	Der Widerstand nimmt jetzt ab.
	50 *m*.	1010.	
10 *h*.	35 *m*.	1000.	
11 *h*.	10 *m*.	990.	
	48 *m*.	980.	
4 *h*.	50 *m*.	960.	

1) Ueber diese anfängliche Abnahme des Widerstandes s. u. Kap. III. § 1; hier ist sie zu übersehen.

7*h*.	55 *m*.	948.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *z*. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 41° aus. Der Widerst. nimmt ab.
	56 *m*.	860.	Der Widerstand verändert sich nicht merklich oder nimmt vielleicht noch etwas ab bis
	58 *m*.		von wo an er zunimmt.
8*h*.	0 *m*.	870.	
	5 *m*.	900.	
	9 *m*.	925.	
	12 *m*.	940.	
	18 *m*.	960.	
	22 *m*.	970.	
	28 *m*.	980.	Sofort *K* geöffnet. Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um c. ½° aus.

Nur ein Stück des Ischiadicus war zu dem Versuche benutzt worden. Das Nervenstück, noch gut feucht von Ansehen, hat während des Versuches an Consistenz zugenommen, so dass es sich nach Beendigung des Versuches nicht mehr gut falten lässt. $ab = 7^{mm}$; $ao = 3^{mm}$; $al = 24^{mm}$; $br = 14^{mm}$.

Wie die Versuche ergeben, erreicht bei andauernder Durchströmung der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke bei seiner anfänglichen Zunahme ein Maximum, nimmt alsdann von diesem Maximum aus anfangs mit allmählich zunehmender, später mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit bis zu einem Minimum ab und wächst endlich wiederum von diesem Minimum aus anfangs mit allmählich zunehmender, später mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit.

Nach der ausführlichen Erörterung, welche wir den Fehlerquellen unserer Versuche im § 1. gewidmet haben, sind hier wenige Worte ausreichend zum Nachweise, dass auf unsere neuen Erfahrungen, die Abnahme und die nochmalige Zunahme des Widerstandes, jene Fehlerquellen ohne jeden wesentlichen Einfluss sind. Der Widerstand unserer Zuleitungsröhren nimmt allerdings mit der andauernden Durchströmung immer mehr ab, allein die durch diese Abnahme bewirkte Schieberverstellung ist nach § 1 (1) so gering, dass sie der in unseren Versuchen hier erforderlichen Schieberverstellung gegenüber nicht in Betracht kommt. Sodann muss in Folge der steten Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung allerdings die Stromintensität und somit auch die innere Polarisation der Nervenstrecke und die Temperatur des Vergleichs-

widerstandes in steter Veränderung begriffen sein: allein die durch diese Veränderung in die Versuche eingeführten Fehler können bei der geringen Bedeutung, welche nach § 1 (2) der inneren Polarisation des Nerven und der Erwärmung des Vergleichswiderstandes schon im Ganzen nur für die Versuche zukommt, nur sehr klein sein. Es lassen sich daher auch die letzteren Fehlerquellen ganz vornachlässigen, oder es ist ihnen jedenfalls nur der durch Fig. 6. dargelegte Einfluss auf die Versuche zuzuschreiben,

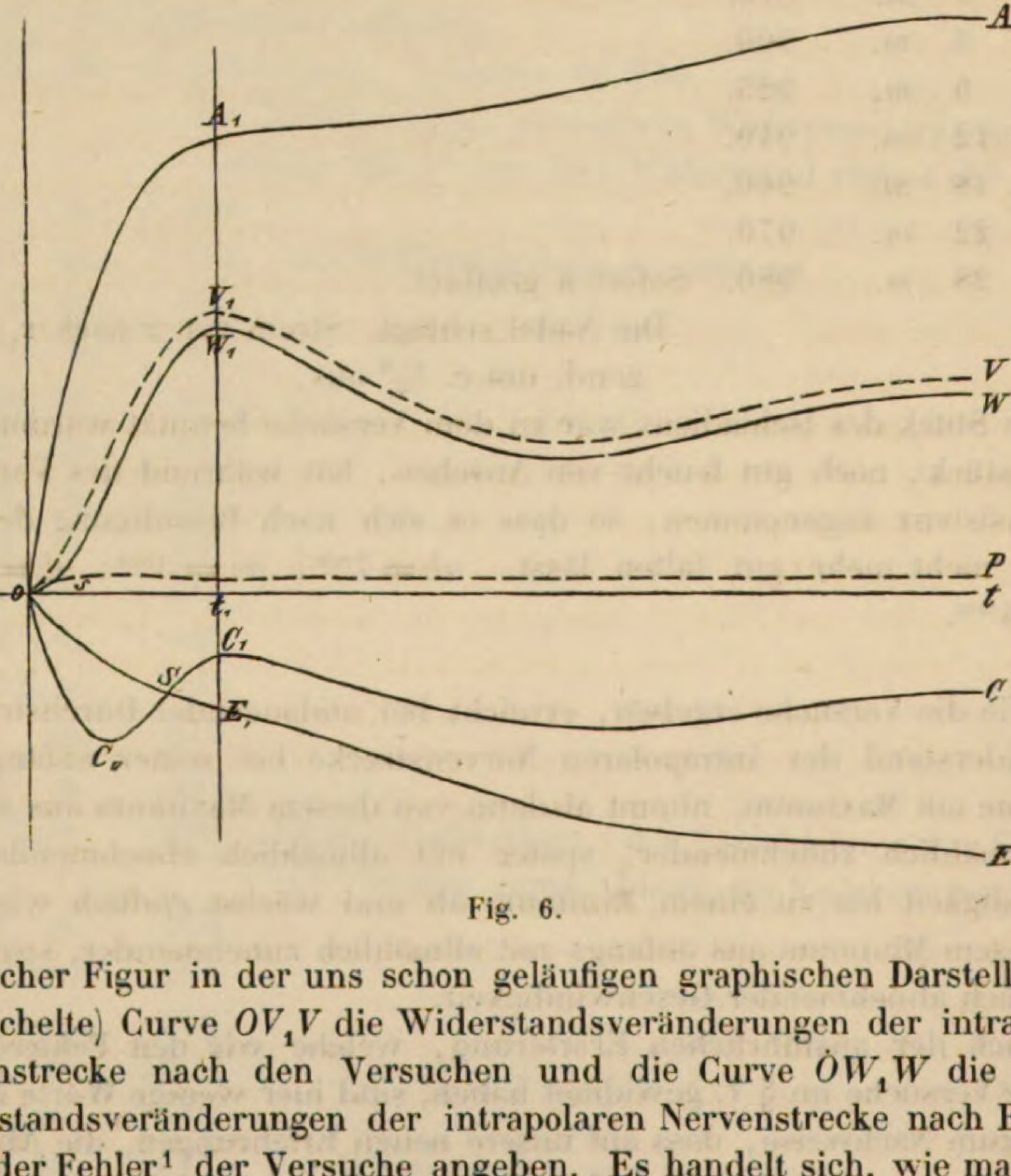


Fig. 6.

in welcher Figur in der uns schon geläufigen graphischen Darstellung die (gestrichelte) Curve OV_1V die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke nach den Versuchen und die Curve OW_1W die wahren Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke nach Eliminirung der Fehler[1] der Versuche angeben. Es handelt sich, wie man sieht, von der Erniedrigung sämmtlicher Ordinaten abgesehen, nur um eine ganz unwesentliche Gestaltsveränderung der Curve OV_1V, durch welche das Ergebniss der Versuche, wie es vorhin ausgesprochen worden ist, in keiner Weise modificirt wird.

Ueber die Beziehungen der anfänglichen Zunahme des Widerstandes der intrapolaren Nervenstrecke zur Abnahme und zur späteren Zunahme

1) Die (gestrichelte) Curve OsP der Figur 6. entspricht der Curve OP der Fig. 5; s. o. S. 50. Anm.

derselben ergeben die Versuche als allgemeingültig unter sonst gleichen Umständen Folgendes:

1. Je grösser die Geschwindigkeit ist, mit welcher der Widerstand der Nervenstrecke nach der Schliessung der Kette wächst, desto früher hebt die Abnahme des Widerstandes an, und desto früher macht wiederum diese Abnahme der neuen Zunahme des Widerstandes Platz.

2. Je grösser die Geschwindigkeit ist, mit welcher der Widerstand der Nervenstrecke nach der Schliessung der Kette wächst, desto grösser ist auch im Ganzen die Geschwindigkeit, mit welcher der Widerstand abnimmt, und ebenfalls desto grösser ist dann im Ganzen die Geschwindigkeit, mit welcher der Widerstand von Neuem zunimmt.

3. Die Abnahme des Widerstandes der Nervenstrecke erfolgt im Ganzen stets mit geringerer Geschwindigkeit als die anfängliche Zunahme desselben. Das Minimum, welches der Widerstand bei seiner Abnahme erreicht, ist stets beträchtlich grösser als der Widerstand des Nerven bei dem Beginne der Durchströmung.

4. Die neue Zunahme des Widerstandes der Nervenstrecke nach seiner Abnahme erfolgt stets mit viel geringerer Geschwindigkeit als die anfängliche Zunahme desselben.

Die Versuche 15. und 16. sind so ausgewählt, dass sie, soweit eben wenige Versuche ausreichen, Belege für die vorstehenden Erfahrungen liefern. Sie sind aber noch lange nicht die extremen zur Beobachtung gekommenen Fälle: es wird genügen hierfür anzuführen, dass in Versuchen, in welchen die Geschwindigkeit der anfänglichen Widerstandszunahme noch viel grösser als im Versuche 15. und fast so gross wie im Versuche 14. war, die Abnahme des Widerstandes schon 17 Minuten, in anderen Versuchen, in welchen jene Geschwindigkeit noch kleiner als im Versuche 16. war, die Abnahme des Widerstandes erst 5 Stunden nach der Schliessung der Kette begann.

Ueber die zweite Zunahme des Widerstandes hinaus sind die Versuche des grossen Zeitaufwandes wegen, welchen sie erfordern, nicht ausgedehnt worden. Höchst wahrscheinlich folgt der zweiten Zunahme des Widerstandes eine zweite Abnahme desselben, dieser unter Umständen vielleicht noch eine neue Zunahme u. s. f., jedoch muss wohl jede folgende Abnahme resp. Zunahme eine Schwankung des Widerstandes zwischen engeren Grenzen vorstellen als die unmittelbar vorhergehende Zunahme resp. Abnahme.

Es ergiebt sich leicht von selbst, doch wollen wir es noch besonders hervorzuheben nicht unterlassen, dass wir durch die hier aufgefundene Abnahme des Widerstandes nicht getäuscht worden sind hinsichts der anderen Abnahme des Widerstandes, welche § 4. für den Fall der Umkeh-

rung der Stromrichtung im Nerven aufgedeckt hat. Sehr oft haben wir dort die Wippe umgelegt, wenn der Widerstand der Nervenstrecke bei seiner Zunahme noch lange nicht das Maximum erreicht hatte. Sehen wir aber auch hiervon ganz ab, so unterscheiden sich beiderlei Abnahmen sehr wesentlich von einander: die Abnahme des § 4. erfolgt von Anfang an mit abnehmender Geschwindigkeit, sie geht trotz ihrer beträchtlichen Grösse rasch vorüber, und das Minimum, zu welchem sie führt, kommt sehr oft ohngefähr gleich und übertrifft manchmal sogar den Widerstand, welchen die Nervenstrecke bei dem Beginne der Durchströmung besass; die Abnahme dieses § hingegen geht anfangs mit zunehmender und erst später mit abnehmender Geschwindigkeit vor sich, sie dauert trotz ihrer geringeren Grösse lange an, und das Minimum, welches der Widerstand der Nervenstrecke durch sie erreicht, ist stets noch beträchtlich grösser als der Widerstand der Nervenstrecke bei dem Beginne der Durchströmung. Zweifellos und auf das Entschiedenste tritt die gänzliche Verschiedenheit von beiderlei Abnahmen hervor, wenn man die Stromrichtung umkehrt zu einer Zeit, zu welcher der Widerstand der bisher ausschliesslich in Einer Richtung durchströmten Nervenstrecke schon in der Abnahme begriffen ist (Vers. 16): der Umkehrung folgt eine neue beträchtlichere Abnahme, die sich von der Abnahme vor der Umkehrung auf die eben angegebene Weise scharf absetzt.

§ 7. Fortgesetzte Zurückführung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke durch den Strom in Einer Richtung auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke.

Für die Ermittelung der näheren Ursachen der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke, welche wir im vorigen § neu aufgefunden haben und welche nach § 2. wiederum Folgen der Durchströmung sind, knüpfen wir naturgemäss an die Erörterungen des § 3. an. In den Versuchen waren dort die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke bei der Durchströmung, wie wir jetzt wissen, längstens etwa bis zum Eintritte der Widerstandsabnahme verfolgt worden, und wir hatten gefunden, dass die Widerstandszunahme der Nervenstrecke durch den Strom hervorgeht aus dem Conflicte der Erwärmung der Nervenstrecke und der Fortführung der Flüssigkeit in derselben: in Folge der Temperaturveränderung der Nervenstrecke muss ihr Widerstand von der Schliessung der Kette an mit abnehmender Geschwindigkeit rasch kleiner werden bis zu einem Minimum und von dem Minimum aus langsam wieder zunehmen; in Folge der stellenweisen Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit wächst ihr Widerstand — höchst wahrscheinlich von der Schliessung der

Kette an — mit abnehmender Geschwindigkeit; und aus beiderlei Veränderungen zugleich resultirt, dass der Widerstand der Nervenstrecke nach der Schliessung der Kette anfangs mit zunehmender und später mit abnehmender Geschwindigkeit zunimmt. Da nun die Temperatur der Nervenstrecke schliesslich nur noch in Folge der Abnahme der Stromintensität, welche durch die Widerstandszunahme der Nervenstrecke bedingt ist, eine Veränderung erfährt, mussten wir erwarten, dass, wenn die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit endlich nicht mehr fortschritte, auch der Widerstand der Nervenstrecke endlich constant werden würde.

Mit Nichten. Es hat sich jetzt gezeigt, dass der anfänglichen Widerstandszunahme der Nervenstrecke unter dem andauernden Einflusse des Stromes eine Abnahme des Widerstandes und dieser Abnahme wiederum eine Zunahme des Widerstandes folgt. Rathlos stehen wir einen Augenblick diesen neuen Veränderungen des Widerstandes gegenüber.

Denn nur von Einem Vorgange, der in den feuchten porösen Körpern unter dem Einflusse des Stromes statthat, ist es bekannt, dass durch ihn der Widerstand der Körper sich verringert, von der Erwärmung, — und in der Erwärmung der Nervenstrecke kann die Abnahme ihres Widerstandes, um welche es sich jetzt handelt, unmöglich begründet sein. Es ist nicht denkbar, dass der Verlauf der Temperatur-Veränderungen in der durchströmten Nervenstrecke ein wesentlich anderer sei, als wir ihn uns vorgestellt haben; es muss jedenfalls in Folge der schnellen und beträchtlichen Abnahme der anfänglichen Stromintensität das Maximum der Temperatur am Nerven schon in kurzer Zeit nach der Schliessung der Kette eintreten. Und ginge es vielleicht auch an — freilich nur, wenn man den genaueren Verlauf der Widerstandszunahme und der Widerstandsabnahme der intrapolaren Nervenstrecke ganz ausser Acht lässt — in den Fällen, in welchen die Abnahme des Widerstandes sehr früh nach der Schliessung der Kette eintritt und sehr rasch vorübergeht, an die Erwärmung der Nervenstrecke als Ursache der Abnahme ihres Widerstandes zu denken, so verbietet sich doch jeder solcher Gedanke sofort in den zahlreichen anderen Fällen, in welchen der Widerstand erst nach längerer Zeit, oft nach einer oder mehreren Stunden, abzunehmen beginnt und dann Stunden lang in der Abnahme verharrt.

Wie in der ähnlichen Lage, in welcher wir uns im § 5. befanden, könnten wir uns daher zu dem Schlusse gedrängt sehen, dass die Abnahme und die ihr folgende Zunahme des Widerstandes der Nervenstrecke Folgen der Flüssigkeitsfortführung durch den Strom sind. Aber während in dem Falle des § 5. Nichts natürlicher ist, als dass die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit, welche der Strom in der einen Richtung

hervorgerufen hat, durch den Strom in der umgekehrten Richtung aufgehoben und dafür durch diesen neuen Strom wieder eine neue stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit herbeigeführt wird, würde es in unserem Falle hier selbst mit Hülfe der abenteuerlichsten Hypothesen nicht zu erklären gelingen, wie die Flüssigkeitsfortführung durch den stets in derselben Richtung fliessenden Strom eine stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit herbeiführen und aufheben und Beides der Zeit nach nicht blos nach einander, sondern auch — es würde dies der Weise wegen, in welcher die Zunahme und die Abnahme des Widerstandes erfolgen, nöthig sein — neben einander leisten kann. Auch in der Flüssigkeitsfortführung durch den Strom kann also die Widerstandsabnahme der intrapolaren Nervenstrecke, welche wir im vorigen § kennen gelernt haben, nicht begründet sein, und selbst für die Widerstandszunahme, welche der Abnahme folgt, ist kaum Aussicht vorhanden, dass sie, wie die anfängliche Widerstandszunahme, auf die Flüssigkeitsfortführung sich noch wird zurückführen lassen.

Unter diesen Umständen bleibt nichts Anderes übrig, als die Ursache der im § 6. aufgefundenen Widerstandsabnahme der intrapolaren Nervenstrecke in einem Vorgange zu suchen, der unter dem Einflusse des Stromes in der Nervenstrecke statthat, aber entweder noch ganz unbekannt oder wenigstens als von Einfluss auf den Widerstand bisher nicht bekannt ist. An die letztere Möglichkeit heften wir uns natürlich zunächst, und wir finden alsdann den fraglichen Vorgang in der Elektrolyse.

Durch die Abscheidung der Ionen und die etwaigen Verbindungen, welche die Ionen sogleich nach ihrer Abscheidung eingehen, setzt die Elektrolyse der Nervenflüssigkeit chemische Veränderungen in der durchströmten Nervenstrecke und zwar Veränderungen, welche nicht unbeträchtlich sein können, weil die Abscheidung der Ionen nicht nur an den Zuleitungsröhren, sondern auch an zahlreichen Theilchen des porösen Nervengerüstes statthat. Bei der innigen Beziehung aber, in welcher der Leitungswiderstand der Körper im Allgemeinen zu ihrer chemischen Constitution steht, kann es dann gar nicht anders sein, als dass jenen chemischen Veränderungen der Nervenstrecke auch Widerstandsveränderungen derselben entsprechen.

So handgreiflich ist der Einfluss der Elektrolyse auf den Widerstand in der angegebenen Weise, dass, wenn wir nicht schon eher, ohne erst durch unsere letzten Versuchsergebnisse dazu genöthigt zu sein, ihn in Betracht gezogen haben, wir nur darin eine Entschuldigung finden, dass, so oft auch Leiter der zweiten Klasse vom Strome durchflossen waren, bisher noch nirgends einer solchen Veränderung ihres Widerstandes durch die Elektrolyse gedacht worden ist. Freilich hat man auch bisher nur

selten mit feuchten porösen Körpern, vielmehr meist mit freien Flüssigkeiten sich beschäftigt; und bei diesen wird einerseits die Widerstandsveränderung der in Rede stehenden Art, weil die Ionen ausschliesslich an den Elektroden sich abscheiden, wohl nur selten beträchtlich sein, andererseits lag für die Widerstandsveränderung des feuchten Leiters, welche man beobachtete, in der Regel schon eine bekannte und dem Anscheine nach ausreichend sie erklärende Ursache vor, so dass man auf eine zweite Ursache der Widerstandsveränderung nicht verfiel.

Gewiss wäre es nun erwünscht, wenn wir durch die genauere Betrachtung der aus der Elektrolyse der Nervenflüssigkeit hervorgehenden Ionen und der etwaigen secundären Vorgänge an diesen gerade die Abnahme des Widerstandes der durchströmten Nervenstrecke als nothwendige Folge der Elektrolyse hinstellen könnten. Allein so viel sich auch hierfür beibringen lässt, so macht doch das tiefe Dunkel, in welches die chemische Constitution der Nervenflüssigkeit zur Zeit noch für uns gehüllt ist, einen strengen Nachweis ganz unmöglich; und wir beschränken uns deshalb hier vortheilhaft auf die rein physikalischen Verhältnisse. Offenbar genügt denn auch an sich die Alternative, vor welche wir gestellt sind, dass wir die Ursache der im § 6. aufgefundenen Widerstandsabnahme entweder in einem bisher noch unbekannten Vorgange, der unter dem Einflusse des Stromes in den feuchten porösen Körpern statthat und ihren Widerstand verändert, oder in der Elektrolyse, welche mittelbar durch die chemischen Veränderungen, die sie hervorruft, auch Widerstandsveränderungen bedingen muss, zu suchen haben, um uns ohne jedes Bedenken die Elektrolyse der Nervenflüssigkeit als zweifellose Ursache jener Widerstandsabnahme anerkennen zu lassen.

Die allgemeinen Gesetze der Elektrolyse verhelfen uns alsdann sogleich zu einer etwas genaueren Einsicht in die Veränderungen, welche der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke durch die Elektrolyse erfährt. Es muss die Widerstandsabnahme in Folge der Elektrolyse mit der Schliessung der Kette anheben und, so lange die Nervenstrecke vom Strome durchflossen ist, zunehmen. Bliebe die Stromintensität in der Nervenstrecke constant, so würde sie ferner mit constanter Geschwindigkeit wachsen müssen: die Veränderung der Stromintensität in der Nervenstrecke in Folge ihrer Widerstandsveränderungen bei der Durchströmung muss es aber bedingen, dass zu der Zeit, zu welcher der Widerstand der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung in der Zunahme begriffen ist, das Wachsen der Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse mit abnehmender Geschwindigkeit, zu der Zeit hingegen, zu welcher der Widerstand der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung in der Abnahme begriffen ist, jenes Wachsen mit zunehmender Geschwindigkeit statthat.

Da die Quantitäten der an den Elektroden abgeschiedenen Ionen der Stromdichte und der Stromdauer proportional sind [vgl. Abschn. I. Kap. I. § 1 (1)], scheinen alle die vorstehenden Schlüsse wohl begründet: eine nähere Erwägung lässt jedoch noch ein Bedenken entstehen. Gewiss liesse sich gegen die Schlüsse Nichts einwenden, wenn die Ionen so, wie sie abgeschieden sind, resp. die etwaigen Verbindungen, welche die Ionen sogleich nach ihrer Abscheidung eingegangen sind, unverändert sich erhielten. Allein in Folge ihrer Diffusion mit der noch unzersetzten Nervenflüssigkeit — eines Vorganges, der durch die Fortführung der Flüssigkeit im Nerven noch wesentlich unterstützt wird — müssen die Producte der Elektrolyse zum Theil die Gerüsttheilchen, an welchen sie aufgetreten sind, verlassen, und Anionen und Kationen, welche aus der Zersetzung der Nervenflüssigkeit hervorgegangen sind, können dann, wenn sie in der Nervenflüssigkeit zusammentreffen, entweder unmittelbar oder, falls sie schon am Orte ihrer Abscheidung Verbindungen eingegangen waren, nach Lösung dieser Verbindungen zu ihren ursprünglichen Verbindungen wieder zusammentreten. Fände nun auf diese Weise eine Wiederherstellung des durch die zusammentreffenden Producte der Elektrolyse repräsentirten Theiles der zersetzten Nervenflüssigkeit statt, so könnte, wenn wir uns an den einfachsten Fall halten, dass nämlich die Stromintensität in der Nervenstrecke unverändert bliebe, in diesem Falle die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse nicht, wie wir oben erschlossen, mit constanter Geschwindigkeit wachsen, so lange die Durchströmung der Nervenstrecke dauert, sondern mit abnehmender Geschwindigkeit nur einige Zeit bis zu einem Maximum wachsen und dann auf diesem Maximum unverändert sich erhalten.

Indessen kommt es zu einer solchen Wiederherstellung des Theiles der zersetzten Nervenflüssigkeit sicherlich nicht. Sie ergiebt sich schon von vorn herein als sehr unwahrscheinlich, wenn man die Constitution der Nervenflüssigkeit, so weit sie bekannt ist, in Betracht zieht: glücklicher Weise aber haben wir gar nicht nöthig, uns auf chemische Thatsachen zu berufen. In unseren Versuchen hat die Stromintensität in der Nervenstrecke rasch abgenommen, und es hätte demgemäss, wenn eine Wiederherstellung zersetzter Nervenflüssigkeit stattfände, die Widerstandsabnahme in Folge der Elektrolyse noch früher als in dem vorhin supponirten Falle constanter Stromintensität ein Maximum erreichen und auf diesem verharren oder sogar von dem Maximum aus wieder abnehmen müssen. Statt dessen haben wir in unseren Versuchen die Widerstandsabnahme, welche auf die Elektrolyse als nähere Ursache zurückzuführen wir uns genöthigt sahen, oft noch nach einstündiger Durchströmung der Nervenstrecke und noch später im Wachsen begriffen gefunden.

Wenn nun aber auch eine Wiederherstellung des ganzen durch die zusammentreffenden Producte der Elektrolyse repräsentirten Theiles der zersetzten Nervenflüssigkeit nicht statthat, so bleibt doch die Möglichkeit bestehen, dass ein Theil der Producte der Elektrolyse bei dem Zusammentreffen derselben in der noch unzersetzten Nervenflüssigkeit von Neuem Verbindungen eingeht, so dass der Widerstand der Nervenstrecke wächst, wenn auch weniger, als er durch jene Wiederherstellung zersetzter Nervenflüssigkeit gewachsen wäre; und wir haben zuzusehen, wie für diesen Fall die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse, welche wir oben ohne jede Rücksicht auf die Wiedervereinigung der Ionen aus den allgemeinen Gesetzen der Elektrolyse erschlossen haben, modificirt werden würden. Es ist aber leicht zu übersehen, dass in diesem Falle die Geschwindigkeit, mit welcher die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse wachsen, zu der Zeit, zu welcher der Widerstand der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung in der Zunahme begriffen ist, nur etwas rascher abnehmen und zu der Zeit, zu welcher der Widerstand der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung in der Abnahme begriffen ist, nur etwas langsamer zunehmen wird, als wenn gar keine Wiedervereinigung der Ionen statthat.

Mit Hülfe der vorstehenden Erfahrungen können wir nunmehr an die Analyse der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke gehen, welche wir im § 6. neu aufgefunden haben. Jedoch müssen wir vorher auf die anfängliche Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke, welche im § 3. bereits behandelt worden ist, noch einmal zurückkommen.

Von dem vorgerückten Standpunkte aus, welchen wir jetzt durch unsere Ermittelungen über den Einfluss der Elektrolyse auf den Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke einnehmen, erscheinen unsere früheren Discussionen im § 3. nicht mehr ganz zutreffend, und bedarf, was dort für die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes sich uns ergeben hat, theilweise der Berichtigung. Die anfängliche Widerstandszunahme der Nervenstrecke durch den Strom geht nämlich für uns fortan hervor aus dem Conflicte der stellenweisen Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit nicht allein mit der Erwärmung der Nervenstrecke, sondern auch mit der Elektrolyse derselben. Und zwar überwindet die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit in der ersten Zeit nach der Schliessung der Kette die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Erwärmung und in Folge der Elektrolyse zugleich, später aber, wenn die Temperatur der Nervenstrecke nicht mehr wächst, vielmehr mittelbar in Folge der Widerstandszunahme der Nervenstrecke sinkt, mit Hülfe der Widerstandszunahme

der Nervenstrecke in Folge ihrer Erkaltung die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse einzig und allein.

Die entsprechende Berichtigung der graphischen Darstellung der ersten Hälfte der Figur 5. liefern die Curven $\dot{O}\varepsilon oE$ und $\dot{O}\gamma oC$ dieser Figur. $\dot{O}\varepsilon oE$ ist die Curve der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse nach den Ergebnissen dieses §. $\dot{O}\gamma oC$ ist die Curve der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Erwärmung und hat mit der Curve $\dot{O}K$, welche wir früher eben diese Widerstandsveränderungen haben darstellen lassen, im Wesentlichen gleiche Gestalt, wie wir ja auch an dem oben S. 53. über die Erwärmung der Nervenstrecke Gesagten Nichts zu ändern gefunden haben. $\dot{O}K$ ist aber jetzt die Summencurve der Curven $\dot{O}\varepsilon oE$ und $\dot{O}\gamma oC$, und von ihr als solcher gilt jetzt Alles, was oben im § 3. von der Curve $\dot{O}K$ als Curve der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Erwärmung gesagt worden ist; so dass, was wir für die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit oben erschlossen haben, unverändert bestehen bleibt.

Danach ist nur eine sehr grosse Wahrscheinlichkeit dafür vorhanden, dass diese Widerstandszunahme, wie es die Curve $\dot{O}A$ der Fig. 5. anzeigt, sogleich von der Schliessung der Kette an mit abnehmender Geschwindigkeit statthat. Die Wahrscheinlichkeit wird jedoch zur Gewissheit, wenn wir nunmehr die Gründe in Betracht ziehen, weshalb die Geschwindigkeit der Widerstandszunahme überhaupt abnimmt, die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke mit der Dauer der Durchströmung immer weniger fortschreitet. Nach den allgemeinen Gesetzen der Fortführung der Flüssigkeit durch den Strom ist diese unter sonst gleichen Umständen der Stromintensität proportional und wächst mit dem specifischen Widerstande der Flüssigkeit [vgl. Abschn. I. Kap. I. § 2 (2) u. (4)]. Bei der Durchströmung der Nervenstrecke nehmen aber in Folge der Widerstandszunahme der Nervenstrecke durch den Strom die Stromintensität und in Folge der Elektrolyse — genauer ausgedrückt, der Diffusion der Ionen mit der noch unzersetzten Nervenflüssigkeit — (und anfangs auch der Erwärmung) der specifische Widerstand der Nervenflüssigkeit mit der Zeit ab: es muss also auch mit der Dauer der Durchströmung die Flüssigkeitsfortführung in der Nervenstrecke immer unbeträchtlicher werden, demgemäss die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke immer weniger fortschreiten, endlich die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge dieser Verarmung immer mehr abnehmen. Da nun unmittelbar nach der Schliessung der Kette die Stromintensität und der specifische Widerstand der Nervenflüssigkeit am grössten sind, kann darüber kein Zweifel sein, dass auch die Fortführung der Flüssigkeit beim Beginne der Durchströmung am grössten ist und somit

die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke und die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge dieser Verarmung sogleich von der Schliessung der Kette an mit abnehmender Geschwindigkeit zunehmen.

Dass die Abnahme der Stromintensität und die Abnahme des Widerstandes der Nervenflüssigkeit beide vereint dahin wirken, die Flüssigkeitsfortführung in der Nervenstrecke zu verringern, erklärt es zugleich auch, dass die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit, welche anfangs sehr grosse Fortschritte macht, dann, wie es die Curve *ÓA* anzeigt, sehr rasch in ihrem Fortschreiten aufgehalten wird. Und diese Thatsache leitet uns unmittelbar hinüber zu der Widerstandsabnahme der Nervenstrecke, welche ihrer anfänglichen Widerstandszunahme bei andauernder Durchströmung nachfolgt.

Indem nämlich die Geschwindigkeit, mit welcher der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit wächst, rascher abnimmt als die Geschwindigkeit, mit welcher derselbe Widerstand in Folge der Elektrolyse sinkt, tritt ein Zeitpunkt ein, wo die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Verarmung und in Folge der Erkaltung einerseits und die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse andererseits sich das Gleichgewicht halten, — der Widerstand der Nervenstrecke hat dann sein Maximum erreicht. Unmittelbar darauf gewinnt, bei unveränderter Temperatur der Nervenstrecke, die Elektrolyse die Oberhand über die Verarmung, und das Uebergewicht der Elektrolyse wird mit der Fortdauer der Durchströmung immer grösser; — der Widerstand der Nervenstrecke nimmt jetzt mit zunehmender Geschwindigkeit ab, und diese Abnahme wird dadurch noch mehr beschleunigt, dass die in Folge der Widerstandsabnahme der Nervenstrecke wachsende Stromintensität die Temperatur der Nervenstrecke wieder erhöht. Aber das Wachsen der Stromintensität bewirkt zugleich auch, dass die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke wieder rascher fortschreitet und ihre abnehmende Geschwindigkeit bald in eine zunehmende übergeht: so setzt dann die stellenweise Verarmung nicht nur bald früher bald später der beschleunigten Widerstandsabnahme der Nervenstrecke ein Ziel, sondern sie verzögert auch weiter die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke mehr und mehr und lässt sie endlich ganz aufhören und der wiederholten Widerstandszunahme der Nervenstrecke Platz machen.

Sobald aber der Widerstand der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung wieder zu wachsen begonnen hat, wird in Folge der Abnahme der Stromintensität die Geschwindigkeit, mit welcher die stellenweise Verarmung fortschreitet, immer geringer, und es wiederholt sich der Conflict der stellenweisen Verarmung und der Elektrolyse in derselben Weise, wie bei der anfänglichen Widerstandszunahme. Nur findet dieses Mal die Ver-

6*

armung in der durch die Abnahme der Stromintensität herbeigeführten Erkaltung der Nervenstrecke sogleich von vorn herein eine Unterstützung.

Ausführlicherer Erörterungen überhebt uns die graphische Darstellung der Figur 6, die für einen Fall, in welchem die Widerstandsabnahme der intrapolaren Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung ohngefähr so rasch wie in unserem Versuche 15. vor sich geht, die genaue Zergliederung der Veränderungen giebt, welche der Widerstand der Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes erfährt. $\dot{O}W_1W$ ist uns bereits wohlbekannt als die Curve der wahren Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke nach Eliminirung der Fehlerquellen der Versuche (s. o. § 6). $\dot{O}SE_1E$ ist die Curve der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse, und zwar stellt sie diese Veränderungen bei der geringen Genauigkeit, welche ihr von vorn herein nur sich ertheilen lässt, im Ganzen und Grossen richtig dar, gleichviel ob die in die unzersetzte Nervenflüssigkeit hineindiffundirten Producte der Elektrolyse hier unverändert bleiben oder noch Verbindungen eingehen. Sodann ist $\dot{O}C_2SC_1C$ die Curve der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Erwärmung. Endlich ist $\dot{O}A_1A$ die Curve der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit. Summirt man algebraisch die Ordinaten der drei Curven $\dot{O}SE_1E$, $\dot{O}C_2SC_1C$ und $\dot{O}A_1A$ für jeden Punkt der Abscisse, so erhält man die Curve $\dot{O}W_1W$.

Während früher kaum eine Aussicht dafür vorhanden zu sein schien, dass die wiederholte Widerstandszunahme der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung ebenso, wie ihre anfängliche Widerstandszunahme, auf die Flüssigkeitsfortführung in der Nervenstrecke und deren Folge, die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit, sich würde zurückführen lassen, bietet nunmehr, wie man sieht, diese Zurückführung weiter keine Schwierigkeiten. Es verdient aber näher in Betracht gezogen zu werden, wodurch die Sachlage so verändert ist.

Im Eingange dieses §, als noch dafür, dass die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke mit der Dauer der Durchströmung immer weniger fortschreitet, neben der doch nur anfangs wirksamen Erwärmung ein einziger Grund in der durch die Widerstandszunahme der Nervenstrecke bedingten Abnahme der Stromintensität sich ausfindig machen liess, musste es unerklärlich scheinen, dass die wiederholte Widerstandszunahme der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung, wenn sie wiederum in der stellenweisen Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit begründet sein sollte, durch eine lange Zeit der Widerstandsabnahme von der ersten Widerstandszunahme getrennt ist. Denn hatte das Fortschreiten der stellenweisen Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit durch die Abnahme der Stromintensität allein ein Ende erreicht, und nahm der Widerstand der

Nervenstrecke alsdann aus irgend welchem Grunde auch nur ein wenig ab, so musste die Stromintensität wieder eine Grösse erreicht haben, wie sie früher zur Fortsetzung der Verarmung ausreichend war, und die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke musste demgemäss sogleich wieder fortschreiten. Allerdings konnte man noch bei denjenigen Versuchen, in welchen die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke erst nach langer Durchströmung derselben eintritt, an die Schwächung[1] der Kette selbst denken, welche mit der Zeit durch die Abnahme ihrer elektromotorischen Kraft und die Zunahme ihres Leitungswiderstandes statthat, indem in Folge dieser Schwächung die Stromintensität bei gleichem Widerstande der Nervenstrecke zur Zeit der Widerstandsabnahme derselben doch kleiner sein musste als vorher zur Zeit der Widerstandszunahme. Allein selbst bei diesen Versuchen musste doch die lange Dauer der Widerstandsabnahme, bevor der Widerstand von Neuem zunimmt, auffallen, und die Vermuthung, dass die lange Unterbrechung der Widerstandszunahme der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung in der Schwächung der Kette wesentlich begründet sei, musste dann sofort ganz wegfallen, sobald man auch die anderen Versuche in Betracht zog, in welchen schon 20—30 Minuten nach der Schliessung der Kette der Widerstand abzunehmen beginnt, zu einer Zeit also, zu welcher von einer Schwächung unserer (in gutem Zustande befindlichen) Kette gewiss nicht die Rede sein kann.

Jetzt, wo wir wissen, dass neben der Abnahme der Stromintensität noch die Elektrolyse dem Fortschreiten der stellenweisen Verarmung der Nervenstrecke Einhalt thut, erklärt sich hieraus die lange Dauer der Widerstandsabnahme der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung, bevor der Widerstand von Neuem zunimmt, ohne Schwierigkeit. Denn wenn auch durch die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke der Strom die Intensität wiedererlangt, welche er vorher zur Zeit der Widerstandszunahme besass, so ist er alsdann mit dieser Intensität doch nicht mehr im Stande, die Flüssigkeit in der Nervenstrecke so, wie vorher, fortzuführen, weil inzwischen der specifische Widerstand der Nervenflüssigkeit durch die Elektrolyse kleiner geworden ist. Vielmehr kann der Strom, sobald die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke eingetreten ist, erst dann, wenn er zu einer grösseren Intensität herangewachsen ist, den nämlichen Fortschritt der stellenweisen Verarmung der Nervenstrecke bewirken, welchen er vorher

1) *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 273 ff. * — Bei der Gelegenheit sei bemerkt, dass das anfängliche Wachsen der Stromintensität in der Nervenstrecke nach der Schliessung der (neu zusammengesetzten) Kette in Folge der Widerstandsabnahme dieser (s. *Wiedemann* ebenda) der grossen Abnahme der Stromintensität gegenüber in Folge der Widerstandszunahme der Nervenstrecke zu vernachlässigen ist und deshalb oben weiter keine Erwähnung gefunden hat.

bei einer geringeren Intensität herbeiführte; und zwar muss der Unterschied der beiden Intensitäten desto grösser sein, je langsamer der Widerstand abnimmt, weil alsdann für denselben Zuwachs der Stromintensität die Elektrolyse desto länger andauert. Und hieraus im Verein damit, dass die Geschwindigkeit der Widerstandsabnahme wächst, folgt sogleich weiter, dass der Widerstand der Nervenstrecke eine Zeit lang abnehmen muss, ehe er von Neuem in Folge der Verarmung zunehmen kann, und dass die Dauer dieser Widerstandsabnahme desto grösser sein muss, je langsamer diese Widerstandsabnahme erfolgt.

Mit dieser Erörterung ist zugleich die Erklärung dessen geliefert, was bei der in Fig. 6. gegebenen Analyse der Veränderungen, welche der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke unter dem andauernden Einflusse des Stromes erfährt, allein noch einer Erklärung bedarf: der Gestalt nämlich des Stückes A_1A der Curve $\dot{O}A_1A$. Wie für das der Abscisse $\dot{O}t_1$ entsprechende Anfangsstück der Fig. 6, welches nur eine Wiederholung der ersten Hälfte der Fig. 5. vorstellt, so ist auch für das zweite grössere Stück der Fig. 6. die Curve der Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit durch die algebraische Subtraction der Ordinaten der Curven $\dot{O}SE_1E$ und $\dot{O}C_2SC_1C$ für jeden Punkt der Abscisse von den Ordinaten der Curve $\dot{O}W_1W$ gewonnen worden, und da die Curve $\dot{O}W_1W$ durch den Versuch gegeben ist und die Curven $\dot{O}SE_1E$ und $\dot{O}C_2SC_1C$ im Grossen und Ganzen zweifellos richtig sind, muss, wenn unsere Analyse überhaupt richtig ist, ebenso, wie das Stück $\dot{O}A_1$, auch das Stück A_1A der Curve $\dot{O}A_1A$ im Grossen und Ganzen richtig sein. Früher konnte dem nun bei der Vergleichung der Stücke $\dot{O}A_1$ und A_1A zu widersprechen scheinen, dass zur Zeit der Widerstandsabnahme und der wiederholten Widerstandszunahme der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer Verarmung bei gleicher Stromintensität doch stets mit viel geringerer Geschwindigkeit erfolgt als zur Zeit der anfänglichen Widerstandszunahme. Jetzt aber hat sich dieses Verhalten als eine nothwendige Folge der Veränderungen herausgestellt, welche die Elektrolyse in dem specifischen Widerstande der Nervenflüssigkeit veranlasst.

In derselben Weise, wie es in unserer Fig. 6. für einen Fall geschehen ist, in welchem die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung rasch vor sich geht, lassen sich auch die anderen Fälle, in welchen die Widerstandsabnahme langsamer erfolgt, genau zergliedern, so dass es überflüssig wäre und nur zu Wiederholungen führen würde, wenn wir dabei noch verweilen wollten. Nur für die Fälle, in welchen die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung sehr langsam vor sich geht, und in welchen wir die wiederholte Widerstands-

zunahme der Nervenstrecke nicht unmittelbar beobachtet, sondern nur aus der Analogie mit den anderen Versuchen stillschweigend erschlossen haben, bleibt uns noch etwas anzumerken übrig. Bei der grossen Bedeutung nämlich, welche, wie wir gefunden haben, der Geschwindigkeit der Widerstandsabnahme der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung für den Fortschritt der stellenweisen Verarmung zukommt, ist es denkbar, dass in den letztgenannten Fällen die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer Verarmung, nachdem die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung eingetreten ist, die zur Ueberwindung dieser Widerstandsabnahme erforderliche Geschwindigkeit nie wiedererlangt und es somit zu einer wiederholten Widerstandszunahme der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung überhaupt nicht kommt. Wahrscheinlich liegt ein solcher Fall im Versuche 16. vor, in welchem selbst nach 10stündiger Abnahme des Widerstandes die wiederholte Zunahme noch nicht eingetreten ist.

§ 8. Fortgesetzte Zurückführung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke durch den Strom in umgekehrter Richtung auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke.

Nach den Erfahrungen, welche wir im vorigen § über den Einfluss der Elektrolyse auf den Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke gewonnen haben, müssen wir auch auf unsere Erörterungen im § 5. noch einmal zurückkommen. Zwar wird, was wir dort über die Flüssigkeitsrückkehr nach der Umkehrung der Stromrichtung zu den vorher an Flüssigkeit verarmten Stellen der Nervenstrecke und über die gleichzeitige Verarmung anderer Stellen der Nervenstrecke an Flüssigkeit erschlossen haben, aus mehrfachen Gründen, welche so auf der Hand liegen, dass ihre Anführung unterbleiben darf, durch unsere neuen Erfahrungen nicht alterirt. Allein die genaue Zergliederung der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke durch den Strom nach der Umkehrung der Stromrichtung, welche in der zweiten Hälfte der Fig. 5. graphisch gegeben ist, bedarf jetzt der Berichtigung.

Entsprechend nämlich der Berichtigung, welche die erste Hälfte dieser Figur im vorigen § dadurch gefunden hat, dass die Curve $\dot{O}K$ durch die Curven $\dot{O}\gamma o C$ und $\dot{O}\varepsilon o E$, welche die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Erwärmung resp. in Folge der Elektrolyse darstellen, ersetzt ist, müssen jetzt auch in der zweiten Hälfte der Fig. 5. an die Stelle der Fortsetzung KK_1 der Curve $\dot{O}K$ die Fortsetzungen der beiden Curven $\dot{O}\gamma o C$ und $\dot{O}\varepsilon o E$ treten. Was die Fortsetzung der ersteren Curve betrifft, so wird, da die Temperatur der Nervenstrecke mit der durch die

Widerstandsveränderungen derselben bedingten Zunahme und Abnahme der Stromintensität steigt resp. sinkt, nachdem einmal die Curve $\dot{O}\gamma o C$ gegeben ist, $Cm_1 C_1$ als Fortsetzung dieser Curve im Ganzen und Grossen zweifellos richtig sein. Einige Schwierigkeit bietet alsdann aber die Fortsetzung der Curve $\dot{O}\varepsilon o E$.

Es handelt sich hier darum, ob die Umkehrung der Stromrichtung zur Wiederherstellung eines Theiles der zersetzten Nervenflüssigkeit führt, indem die noch von dem Strome in der ursprünglichen Richtung her an den Gerüsttheilchen[1] befindlichen Anionen und Kationen entweder unmittelbar oder, falls sie sogleich nach ihrer Abscheidung Verbindungen eingegangen waren, nach Lösung dieser Verbindungen mit den durch den Strom in der umgekehrten Richtung ebenda abgeschiedenen Kationen resp. Anionen zu ihren ursprünglichen Verbindungen wieder zusammentreten. Auf den ersten Blick könnte freilich jene Wiederherstellung ausser allem Zweifel zu sein scheinen dadurch, dass die ursprüngliche innere Polarisation nach der Umkehrung der Stromrichtung mit der Zeit sich verliert und später die der neuen Stromrichtung entsprechende innere Polarisation auftritt, — insofern es nämlich am nächsten liegt, als Ursache des Verschwindens der ursprünglichen inneren Polarisation die Verbindung der alten mit den neuen Ionen anzusehen. Indessen ist diese Auffassung nur unter den einfachsten Verhältnissen zweifellos richtig, so z. B. bei einem mit einer Salzlösung getränkten Thonstück. Ist hingegen die chemische Constitution der Flüssigkeit des feuchten porösen Körpers verwickelter, so dass die Ionen sogleich nach ihrer Abscheidung Verbindungen eingehen können, so ist auch das in Rede stehende Verhalten der Polarisation mehrdeutig: es kann dann die ursprüngliche innere Polarisation ausser aus dem genannten Grunde einfach auch deshalb verschwinden, weil immer mehr neue Ionen neben den alten sich anhäufen, und die der neuen Stromrichtung entsprechende innere Polarisation kann deshalb schliesslich auftreten müssen, weil die Quantität der alten Ionen, welche durch den Strom keinen Zuwachs mehr erhält, in Folge des Hineindiffundirens in die noch unzersetzte Nervenflüssigkeit immer mehr abnimmt. Wir müssen uns daher schon nach einem anderen Wege zur Entscheidung unserer Frage umsehen.

Wie wir im § 7. gefunden haben, hat bei der Durchströmung der Nervenstrecke in Einer Richtung, wenn die Anionen und Kationen resp. die etwaigen Verbindungen, welche dieselben sogleich nach ihrer Abscheidung eingegangen sind, in Folge ihrer Diffusion mit der noch unzersetzten

1) Die an den Zuleitungsröhren abgeschiedenen Ionen verschwinden denen an den Gerüsttheilchen gegenüber an Menge so, dass wir sie ausser Acht lassen können; es gilt aber übrigens, was wir für das Verhalten der einen Ionen ermitteln, auch für die anderen.

Nervenflüssigkeit in dieser zusammentreffen, eine Wiederherstellung des entsprechenden Theiles der zersetzten Nervenflüssigkeit nicht statt. Die Gründe, welche die Wiederherstellung verhindern, sind uns nicht bekannt geworden. Welches nun aber auch diese Gründe sein mögen, so viel steht fest, dass dieselben Gründe auch dann vorhanden sein müssen, wenn die Ionen resp. ihre Verbindungen nach der Umkehrung der Stromrichtung an den Gerüsttheilchen zusammentreffen, da ja der Ort des Zusammentreffens nicht von Bedeutung sein kann. Es wird daher auch nach der Umkehrung der Stromrichtung zur Wiederherstellung des Theiles der zersetzten Nervenflüssigkeit, der durch die an den Gerüsttheilchen zusammentreffenden Producte der Elektrolyse repräsentirt ist, nicht kommen: es wird vielmehr höchstens ein Theil der Producte der Elektrolyse Verbindungen eingehen, so dass der Widerstand der durchströmten Nervenstrecke wächst, doch weniger, als er durch jene Wiederherstellung der zersetzten Nervenflüssigkeit gewachsen wäre.

Tritt gar keine Verbindung der neuen Producte der Elektrolyse mit den alten an den Gerüsttheilchen ein, so werden die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse nach der Umkehrung der Stromrichtung nur in Folge der etwas verschiedenen Veränderungen der Stromintensität abweichen und somit nicht auffallend andere sein, als wenn die Stromrichtung dieselbe geblieben wäre: Em_2E_2 wird alsdann als Fortsetzung der Curve $O\varepsilon oE$ im Ganzen und Grossen richtig sein. Anders, wenn ein Theil der Producte der Elektrolyse Verbindungen eingeht. In diesem Falle werden die Verbindungen, weil sie nach der Umkehrung nicht so langsam, wie bei andauernder Durchströmung der Nervenstrecke in derselben Richtung, sondern rascher und überdies auch in grösserem Massstabe vor sich gehen werden, in der ersten Zeit nach der Umkehrung eine Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse bewirken, und etwa EmE_1 wird jetzt die Fortsetzung der Curve $O\varepsilon oE$ darstellen.

Wir finden also, dass das Curvenstück KK_1 der Figur 5. entweder durch die Curvenstücke Cm_1C_1 und EmE_1 oder durch die Curvenstücke Cm_1C_1 und Em_2E_2 zu ersetzen ist. Und hieraus erwächst uns sogleich weiter die Aufgabe, zuzusehen, ob und wie durch diesen Ersatz — und zwar, da wir zwischen den beiden Möglichkeiten desselben weiter zu entscheiden nicht im Stande sind, durch eine jede dieser Möglichkeiten — die in der zweiten Hälfte der Fig. 5. gegebene Zergliederung im Uebrigen noch modificirt wird.

Dabei kann begreiflich nur die Curve As_2R in Frage kommen. Obwohl oben im § 5. Nichts darüber besonders angemerkt worden ist, war als Zweck der ganzen Zergliederung doch leicht zu erkennen, dass die Wider-

standsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Flüssigkeitsrückkehr, von welchen wir bis dahin nur wussten, dass sie in einer Abnahme des Widerstandes beständen, in ihrem Verlaufe näher bestimmt werden sollten. Nach unserer damaligen Kenntniss der den Widerstand verändernden Vorgänge, welche unter dem Einflusse des Stromes in der Nervenstrecke statthaben, musste, da wir die Curven KK_1 und $t_1 s_1 s_2 A_1$ als im Ganzen und Grossen richtige Darstellungen der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge ihrer Temperatur-Veränderungen resp. ihrer neuen stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit hinstellen konnten, auch die Curve $As_2 R$, welche durch die algebraische Subtraction der Ordinaten der beiden eben genannten Curven von den Ordinaten der gegebenen Curve WW_1 für jeden Punkt der Abscisse sich ergab, als Curve der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Flüssigkeitsrückkehr im Ganzen und Grossen richtig sein. Jetzt haben wir erfahren, dass die Curve KK_1 durch zwei andere Curven zu ersetzen ist, und mit Hülfe dieser beiden Curven und der Curve $t_1 s_1 s_2 A_1$, an welcher wir Nichts zu verändern gefunden haben, haben wir also aus der Curve WW_1 in derselben Weise, wie früher, die Curve der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Flüssigkeitsrückkehr von Neuem zu entwickeln.

Für den Fall, dass EmE_1 die rechte Fortsetzung der Curve $\dot{O}\varepsilon oE$ ist, kann — von dem Ersatze der Curve KK_1 natürlich abgesehen — unsere Zergliederung unverändert bestehen bleiben: die algebraische Summirung der Ordinaten der Curven $t_1 s_1 s_2 A_1$, $Cm_1 C_1$, EmE_1 und $As_2 R$ für jeden Punkt der Abscisse ergiebt die Curve WW_1. Ist dagegen $Em_2 E_2$ statt EmE_1 zu nehmen, so hat an die Stelle der Curve $As_2 R$ die Curve $As_3 R_1$ zu treten: man erhält dann die Curve WW_1, wenn man die Ordinaten der Curven $t_1 s_1 s_2 A_1$, $Cm_1 C_1$, $Em_2 E_2$ und $As_3 R_1$ für jeden Punkt der Abscisse algebraisch summirt. Da nun die Curven $As_2 R$ und $As_3 R_1$ an Gestalt einander im Wesentlichen gleich sind, läuft also die Bedeutung des Ersatzes, welchen wir dem Curvenstücke KK_1 haben geben müssen, und der Ungewissheit, in welcher wir uns noch dazu hinsichts der Fortsetzung der Curve $\dot{O}oE$ befinden, für die Curve der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Flüssigkeitsrückkehr darauf hinaus, dass wir uns die Curve $As_2 R$ nicht als absolut genau, sondern nur als im Ganzen und Grossen richtig d. h. die betreffenden Widerstandsveränderungen in ihren Hauptzügen richtig angebend vorzustellen haben. Mehr aber können in der That unsere graphischen Darstellungen insgesammt schon von vorn herein nicht beanspruchen, nachdem wir mit dem Verzichte auf absolute Bestimmungen in die Untersuchung eingetreten sind, und speciell für die Curve $As_2 R$ ist, was wir eben erschlossen haben, vorhin schon angemerkt worden. Es ist demnach, was schon die Zergliederung im § 5. ergeben hat,

als richtig festzuhalten, dass nämlich nach der Umkehrung der Stromrichtung der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke in Folge der Flüssigkeitsrückkehr zu den vorher an Flüssigkeit verarmten Stellen der Nervenstrecke mit anfangs sehr grosser, aber rasch abnehmender Geschwindigkeit abnimmt.

In Betreff der Curve $t_1 s_1 s_2 A_1$ ist schon erwähnt worden, dass wir an ihr Nichts zu verändern gefunden haben: es verdient aber noch besonders hervorgehoben zu werden, dass gerade durch die Ermittelungen des § 7. die Richtigkeit einer Abweichung dieser Curve von der Curve $\acute{O}A$ ausser allen Zweifel gestellt ist. Das Endstück der Curve $t_1 s_1 s_2 A_1$ hatten wir weniger concav gegen die Abscissenaxe und die Curve überhaupt im Ganzen weniger steil als die Curve $\acute{O}A$ angenommen, weil die Widerstandszunahme der Nervenstrecke bei der Durchströmung nach der Umkehrung der Stromrichtung im Ganzen stets mit geringerer Geschwindigkeit als vor der Umkehrung erfolgt, und weil wir diese Erfahrung nicht anders zu deuten vermochten, als dass die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit nach der Umkehrung langsamer vor sich geht als vor der Umkehrung. Diese Deutung hat jetzt ihre thatsächliche Unterlage darin gefunden, dass der Widerstand der Nervenflüssigkeit in Folge der Elektrolyse kleiner wird: es muss dieser Veränderungen der Nervenflüssigkeit wegen die Flüssigkeitsfortführung in der Nervenstrecke und deren Folge, die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit, bei gleicher Stromintensität nach der Umkehrung der Stromrichtung doch langsamer vor sich gehen als vor der Umkehrung.

§ 9. Ueber die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke unmittelbar nach ihrer Durchströmung.

Wir kennen jetzt, so genau es vor der Hand nur wünschenswerth ist, die Widerstandsveränderungen, welche in der intrapolaren Nervenstrecke während der Durchströmung statthaben, und die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke, durch welche jene Widerstandsveränderungen bedingt sind. Da nun nach der Durchströmung die durch den Strom gesetzten Veränderungen in den feuchten porösen Körpern eine mehr oder weniger vollkommene Rückbildung erfahren, dürfen wir, wenn nicht aus anderen Gründen, schon der Controle unserer bisherigen Ermittelungen wegen es nicht unterlassen, auch noch das Verhalten des Nerven n a c h der Durchströmung in den Kreis unserer Untersuchungen zu ziehen. Es ist aber nöthig, der neuen Untersuchung, welche wir vorhaben, von vornherein bestimmte Grenzen zu stecken, und wir bestimmen diese dahin, dass wir die Nervenstrecke höchstens eine Stunde lang vom Strome durchflossen sein las-

sen und dann ihr Verhalten während einer nicht längeren Zeit nach der Durchströmung, als die Durchströmung selbst angedauert hat, in Betracht ziehen.

Unter den verschiedenen zulässigen Versuchsweisen, die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke unmittelbar nach ihrer Durchströmung festzustellen, wollen wir uns hier derjenigen bedienen, welche mit der augenblicklich beabsichtigten Untersuchung zugleich noch eine zweite, weiter unten im Kap. III. § 7. niedergelegte Untersuchung zu verbinden gestattet. Wir brechen einfach durch Oeffnen der Kette die Durchströmung nach einer gewissen Dauer derselben ab und lassen sie nach einiger Zeit durch Wiederschliessung der Kette wieder beginnen: aus dem Unterschiede des Widerstandes der Nervenstrecke zur Zeit der Oeffnung und zur Zeit der Wiederschliessung der Kette entnehmen wir dann die Widerstandsveränderung, welche die Nervenstrecke nach der Durchströmung erfahren hat. Eine andere Versuchsweise, welche in der plötzlichen Verringerung der Intensität des die Nervenstrecke durchfliessenden Stromes besteht — so dass die Durchströmung der Nervenstrecke nicht ganz, sondern zum Theil abgebrochen wird —, werden wir weiter unten [Kap. III. § 1 (1a)] kennen lernen, und es mag beiläufig sogleich darauf aufmerksam gemacht sein, dass diese zweite Versuchsweise zu denselben Ergebnissen, wie die hier angewandte, führt.

Versuch 17.

[Fortsetzung von Versuch 3. § 1 (2).]

.

4 *h.*	34 *m.*	*K* geschlossen. Schieber auf 1275. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 82° aus. Der Widerstand nimmt zu.
	35 *m.*	1160.
	36 *m.*	1200.
	37 *m.*	1230.
	39 *m.*	1255.
	43 *m.*	1265.
	51 *m.*	1277.
5 *h.*	7 *m.*	1285.
	40 *m.*	1289. Sofort *K* geöffnet. Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um c. $3\frac{1}{2}°$ aus.

Bei der Schliessung und bei der Oeffnung zuckte auch hier der Muskel.

Versuch 18.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei z_1.

10 *h*. 0 *m*. Mittelgrosser Frosch ††.

7 *m*. Ischiadicus aufgelegt.

11 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 500. Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 50^0 aus. Der Widerstand nimmt zu.

13 *m*. 836.

19 *m*. 860.

24 *m*. 885.

30 *m*. 930.

38 *m*. 990.

49 *m*. 1060. — Empfindlichkeitsprüfung: der Verschiebung von *S* um 12^{mm} entspricht const. Ablenkung der Nadel von 1^0.

11 *h*. 8 *m*. 1120.

28 *m*. 1145. Sofort *K* geöffnet. Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um c. 1^0 aus.

33 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 1145. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um $8\frac{1}{2}^0$ aus. Der Widerst. nimmt zu.

34 *m*. 1065.

36 *m*. 1110.

48 *m*. 1150. Sofort *K* geöffnet. Nadelausschlag wie 11 *h*. 28 *m*.

12 *h*. 4 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 1150. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 13^0 aus. Der Widerst. nimmt zu.

5 *m*. 1010.

7 *m*. 1060.

13 *m*. 1110.

18 *m*. 1120. Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis

30 *m*. wo *K* geöffnet wird. Nadelausschlag wie 11 *h*. 28 *m*.

1 *h*. 1 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 1120. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 14^0 aus. Der Widerst. nimmt zu.

2 *m*. 970.

5 *m*. 1015.

1 *h.* 12 *m.* 1060.
16 *m.* 1070. Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
26 *m.* wo *K* geöffnet wird.
Nadelausschlag wie 11 *h.* 28 *m.*
2 *h.* 43 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 1070.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 16° aus. Der Widerst. nimmt zu.
44 *m.* 915.
47 *m.* 950.
52 *m.* 980.
3 *h.* 1 *m.* 1015. Sofort *K* geöffnet.
Nadelausschlag ohngefähr wie 11 *h.* 28 *m.*

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 5{,}5^{mm}$; $am = 22^{mm}$; $bo = 4^{mm}$; $bw = 34^{mm}$. — Bei der Schliessung 2 *h*. 13 *m*. zuckte der Muskel noch; bei der Oeffnung 3 *h*. 1 *m*. und bei nachfolgenden Schliessungen und Oeffnungen zuckte der Muskel nicht mehr.

Versuch 19.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei z_1.

3 *h.* 51 *m.* Kleiner Frosch ††.
56 *m.* Ischiadicus aufgelegt.
4 *h.* 0 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 750.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 14° aus. Der Widerstand nimmt zu.
1 *m.* 733.
7½ *m.* 750.
15½ *m.* 770.
23½ *m.* 790.
30 *m.* 810.
34 *m.* 830.
37 *m.* 850.
40½ *m.* 870.
43½ *m.* 890.
46½ *m.* 910.
49½ *m.* 930.
53½ *m.* 960.
56 *m.* 980.
5 *h.* 2 *m.* 1020.
10 *m.* 1060.

5 *h.* 20 *m.* 1100. — Empfindlichkeitsprüfung: der Verschiebung von
S um 10mm entspr. const. Ablenk. d. Nadel v. c. 4°.
26½ *m.* 1120.
36½ *m.* 1140.
50 *m.* 1147. Der Widerstand nimmt jetzt spurweise ab bis
53 *m.* wo *K* geöffnet wird.
Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um c. 4½° aus.
55 *m.* *K* geschlossen. — Schieber auf 1100.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 15° aus. Der Widerstand nimmt rasch zu.
56 *m.* 1120.
57 *m.* 1127.
6 *h.* 0 *m.* 1135. Der Widerstand nimmt jetzt ab.
7 *m.* 1133. Sofort *K* geöffnet.
Nadelausschlag wie 5 *h.* 53 *m.*
9 *m.* *K* geschlossen. — Schieber auf 1080.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 14° aus. Der Widerstand nimmt rasch zu.
10 *m.* 1095.
11 *m.* 1113.
13 *m.* 1117. Der Widerstand nimmt jetzt spurweise ab bis
16 *m.* wo *K* geöffnet wird.
Nadelausschlag wie 5 *h.* 53 *m.*
18 *m.* *K* geschlossen. — Schieber auf 1030.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 1° aus. Der Widerstand nimmt rasch zu.
19 *m.* 1090.
20 *m.* 1100.
21 *m.* 1104.
23 *m.* 1105. Der Widerstand nimmt jetzt ab.
25 *m.* 1104. Sofort *K* geöffnet.
Nadelausschlag ohngefähr wie 5 *h.* 53 *m.*
27 *m.* *K* geschlossen. — Schieber auf 1010.
Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 1° aus; indem sie sodann aber nach dem Nullpunkte zurückzukehren im Begriff ist, wird sie aufgehalten und schlägt in demsel–

ben Sinne jetzt um 14⁰ aus. So rasch nimmt der Widerstand zu.

6 *h*. 28 *m*. 1070.
29 *m*. 1085.
31 *m*. 1092. Der Widerstand nimmt jetzt ab.
33 *m*. 1090. Sofort *K* geöffnet.
Nadelausschlag wie 5 *h*. 53 *m*.
35 *m*. *K* geschlossen. — Schieber auf 995.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um c. $1\frac{1}{2}^0$ aus. Der Widerstand nimmt rasch zu.
36 *m*. 1060.
37 *m*. 1075.
38 *m*. 1079. Der Widerstand nimmt jetzt spurweise ab bis
40 *m*. wo *K* geöffnet wird.
Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um 4^0 aus.
50 *m*. *K* geschlossen. — Schieber auf 960.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 5^0 aus. Der Widerstand nimmt rasch zu.
51 *m*. 1010.
52 *m*. 1023.
53 *m*. 1034.
54 *m*. 1042.
$55\frac{1}{2}$ *m*. 1045.
59 *m*. 1050. Der Widerstand nimmt jetzt spurweise ab bis
7 *h*. 3 *m*. wo *K* geöffnet wird.
Nadelausschlag wie 6 *h*. 40 *m*.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 7^{mm}$; $am = 14^{mm}$; $bo = 4—5^{mm}$; $bw = 35^{mm}$. — Bei jeder Schliessung und Oeffnung zuckte der Muskel.

Versuch 20.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 4 Daniells. — Stromeintritt bei z_1.

10 *h*. 37 *m*. Grosser, kranker Frosch ††.
43 *m*. Ischiadicus aufgelegt.
45 *m*. *K* geschlossen. — Schieber auf 750.
Die Nadel geht, geringeren Widerstand anzeigend, langsam an die Hemmung. Der Widerst. nimmt zu.

10 *h*.	46 *m*.	550.	
	48 *m*.	558.	
	50 *m*.	565.	
	53 *m*.	575.	
	56 *m*.	585.	
11 *h*.	1 *m*.	605.	
	5 *m*.	625.	— Empfindlichkeitsprüfung: der Verschiebung von *S* um 10^{mm} entspr. const. Ablenk. d. Nadel von 3°.
	9½ *m*.	645.	
	15 *m*.	665.	
	19 *m*.	675.	
	25½ *m*.	685.	
	40 *m*.	692.	Sofort *K* geöffnet. Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um 5° aus.
12 *h*.	52 *m*.		*K* geschlossen. — Schieber auf 550. Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 29° aus. Der Widerstand nimmt ab.
	53 *m*.	585.	
	54 *m*.	575.	
1 *h*.	3 *m*.	565.	
	9 *m*.	562.	Der Widerstand nimmt jetzt zu.
	15 *m*.	565.	
	23 *m*.	575.	
	29 *m*.	585.	
	34½ *m*.	595.	
	40 *m*.	605.	
	45½ *m*.	615.	
	51½ *m*.	625.	
	57 *m*.	635.	
2 *h*.	5 *m*.	645.	
	15 *m*.	655.	Sofort *K* geöffnet. Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um 6° aus.
	23 *m*.		*K* geschlossen. — Schieber auf 610. Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 12° aus. Der Widerstand nimmt zu.
	24 *m*.	605.	
	25 *m*.	615.	
	27 *m*.	625.	
	29½ *m*.	635.	

2 *h*. 34 *m*. 645. Sofort *K* geöffnet.
Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um 8⁰ aus.

36 *m*. *K* geschlossen. — Schieber auf 620.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 5^0 aus. Der Widerstand nimmt zu.

37 *m*. 635.

39 *m*. 645.

47 *m*. 655. Sofort *K* geöffnet.
Nadelausschlag wie 2 *h*. 34 *m*.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 5^{mm}$; $am = 20^{mm}$; $bo = 7^{mm}$; $bw = 40^{mm}$. — Nur bei der Schliessung 10 *h*. 45 *m*. zuckte der Muskel. — 2 *h*. 50 *m*. war der Nerv in seiner ganzen Länge nicht mehr erregbar, und selbst bei dem Herausziehen der Nervenverzweigungen aus dem Muskel (nach *Harless*) zuckte der Muskel nicht.

(Vgl. noch Versuch 13. im § 4.)

Wie man sieht, ist nach der Wiederschliessung der Kette stets eine Verstellung des Schiebers von derjenigen Stellung aus, welche er unmittelbar vor der Oeffnung inne hatte, im Sinne einer Widerstandsabnahme der Nervenstrecke erforderlich. Während des Offenseins der Kette zerstreut sich die innere Polarisation und erkaltet der Vergleichswiderstand: allein, wie ein Blick auf die Versuche lehrt, würde selbst diejenige Schieberverstellung, welche die vollkommene Zerstreuung der inneren Polarisation und die Rückkehr der Capillarröhre zu ihrer anfänglichen Temperatur herbeiführen würden, immer nur ein kleiner Bruchtheil der Schieberverstellung sein, welche schon nach einer Oeffnung der Kette von nur wenigen Minuten erforderlich ist[1]. Es nimmt also der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke unmittelbar nach der Durchströmung ab.

Unterbricht man die Durchströmung der Nervenstrecke mehrmals und auf verschieden lange Zeiten, so stellt sich, gleichviel ob man mit kürzeren Unterbrechungen begonnen hat und zu längeren fortgeschritten ist oder ob man umgekehrt vorgegangen ist, die Widerstandsabnahme desto grösser heraus, je länger die Kette geöffnet war. Aber zugleich zeigt sich auch, dass die Widerstandsabnahme bei längerem Offensein der Kette doch nicht

1) In Folge der Widerstandsveränderungen mit der Zeit [s. o. § 1 (1)] erfährt der Widerstand der Zuleitungsröhren während des Offenseins der Kette eine Abnahme; aber diese Abnahme ist so gering, dass sie bei unseren Versuchen mit der Capillarröhre als Vergleichswiderstand wiederum ganz zu vernachlässigen ist [vgl. o. § 1 (1) und u. Kap. III. § 5 (2)].

so gross ist, wie unter der Voraussetzung einer constanten Geschwindigkeit der Abnahme nach der Abnahme bei kürzerem Offensein der Kette zu erwarten ist; und zwar erscheint die Widerstandsabnahme bei dem längeren Offensein der Kette um so mehr zu klein, je länger die Kette geöffnet war. Dabei sind die Unterschiede der Widerstände, um welche es sich hier handelt, wiederum so gross, dass von einer Täuschung durch die Zerstreuung der inneren Polarisation und die Erkaltung der Capillarröhre, welche beide mit abnehmender Geschwindigkeit statthaben, auch nicht im Entferntesten die Rede sein kann. Es nimmt also der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke unmittelbar nach der Durchströmung mit abnehmender Geschwindigkeit ab.

Vergleicht man weiter der Grösse nach die ganze Widerstandszunahme der Nervenstrecke während der Durchströmung mit ihrer ganzen Widerstandsabnahme während einer gleichen Zeit nach der Durchströmung, so ergiebt sich, dass die erstere wesentlich grösser ist als die letztere: es ist also im Ganzen die Geschwindigkeit der Widerstandsabnahme nach der Durchströmung kleiner als die Geschwindigkeit der Widerstandszunahme während der Durchströmung. Und überhaupt erlangt, wie beiläufig bemerkt sein mag, selbst wenn die Kette viel länger geöffnet bleibt, als sie vorher geschlossen war, der Widerstand der Nervenstrecke nach der Durchströmung nie die geringe Grösse wieder, welche er beim Beginne der Durchströmung besass.

Uebrigens ist die Geschwindigkeit der Widerstandsabnahme nach der Durchströmung desto grösser, je mehr der Widerstand zur Zeit der Oeffnung vergrössert war, wobei es gleichgültig ist, ob die Zunahme des Widerstandes nach der Schliessung der Kette rascher erfolgt war und die Kette eine kürzere Zeit hindurch geschlossen war, oder ob die Zunahme des Widerstandes langsamer erfolgt war und die Schliessung der Kette länger gedauert hatte. Die Durchsicht zahlreicher Versuche lehrt dies ohne Weiteres. Und durch diese neue Erfahrung wird eine Ausnahme beseitigt, welche sonst hin und wieder das Wachsen der Widerstandsabnahme mit der Dauer des Offenseins der Kette — wenigstens bei flüchtiger Betrachtung — zu erfahren scheinen könnte. Im Versuche 18. ist ein Beispiel einer solchen scheinbaren Ausnahme vorgeführt: hier nimmt allerdings nach der 2. Oeffnung in 16 Minuten der Widerstand beträchtlich mehr ab als nach der 1. Oeffnung in 5 Minuten, allein nach der 3. Oeffnung nimmt in 31 Min. der Widerstand weniger ab als nach der 2. Oeffnung in 16 Min., und nach der 4. Oeffnung nimmt in 77 Min. der Widerstand sogar noch weniger ab als nach der 3. Oeffnung in 31 Minuten. Dies Verhalten der Widerstandsabnahme nach der 3. und 4. Oeffnung erklärt sich jetzt einfach dadurch, dass der Zuwachs, welchen der Widerstand durch den Strom

erfahren hatte, zur Zeit der 3. Oeffnung kleiner war als zur Zeit der 1. und 2. Oeffnung und wiederum zur Zeit der 4. Oeffnung noch kleiner war als zur Zeit der 3. Oeffnung.

In der Figur 7. sind die Erfahrungen, welche wir eben gewonnen haben, in der gewohnten Weise graphisch dargestellt. Das der Abscisse $\dot{O}t_1$ entsprechende Anfangsstück der Figur ist die genaue Wiederholung des

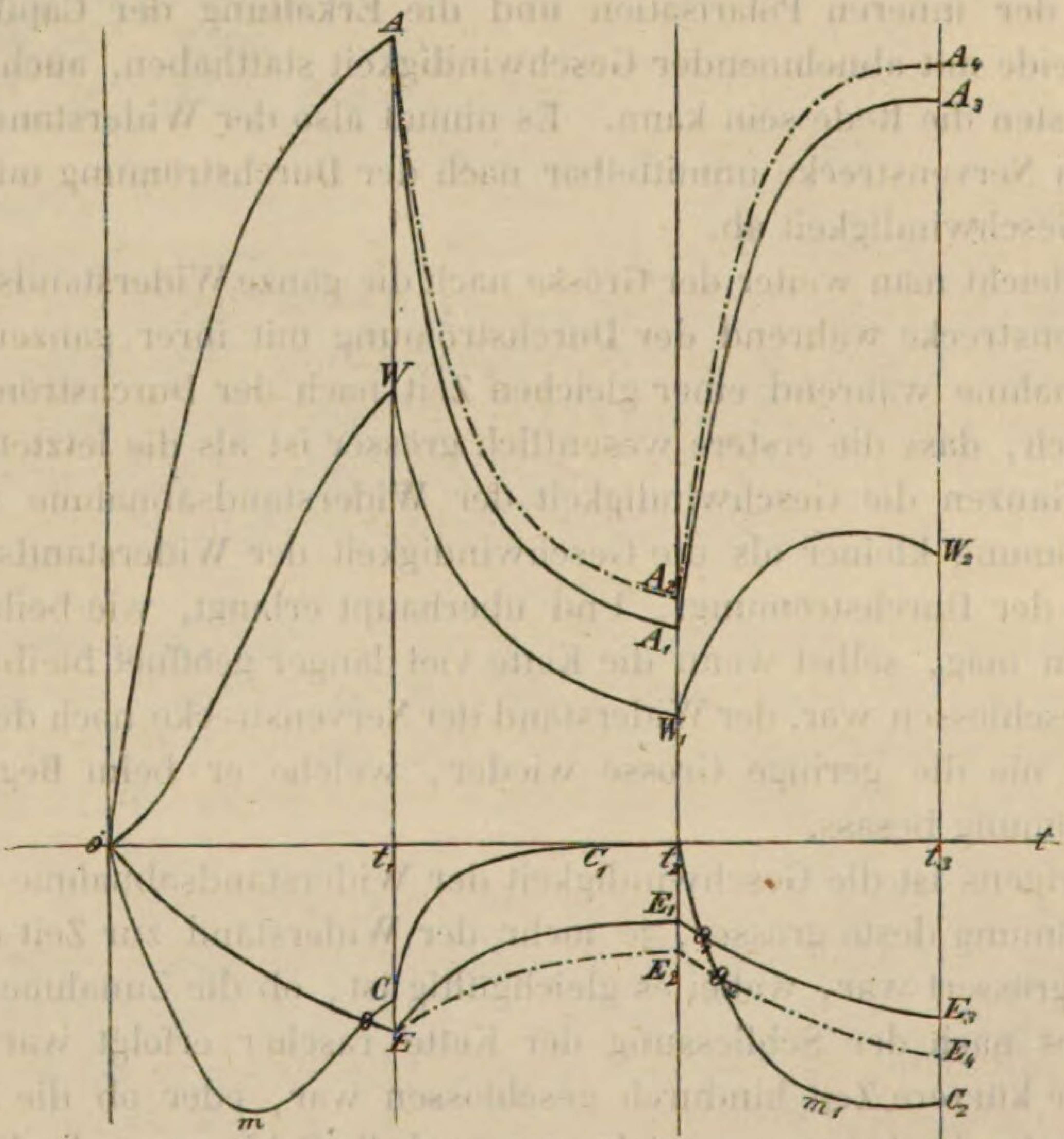


Fig. 7.

Anfangsstückes der Fig. 6. und bedarf keiner Erläuterung mehr. Bei t_1 wird die Kette geöffnet, bei t_2 wird sie wieder geschlossen; und die Curve WW_1, die Fortsetzung der Curve $\dot{O}W$, stellt die Widerstandsveränderungen, welche die intrapolare Nervenstrecke unmittelbar nach der Durchströmung erfährt, nach den Versuchen (nach Eliminirung der Fehler der Versuche) dar.

§ 10. Zurückführung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke unmittelbar nach ihrer Durchströmung auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke.

Nach der Unterbrechung des die Nervenstrecke durchfliessenden Stromes würde der Widerstand der Nervenstrecke nur die Veränderungen mit

der Zeit zu durchlaufen haben, wenn nicht Nachwirkungen der Durchströmung auf ihn sich geltend machten. Nun sind uns die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit zwar noch nicht bekannt geworden: allein in ähnlicher Weise, wie wir es im § 2. für die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke bei der Durchströmung gethan haben, nehmen wir auch hier unter dem Vorbehalte des späteren Nachweises (s. u. Kap. III. § 5) als Thatsache vorauf, dass innerhalb der längstens etwa eine Stunde betragenden Zeit nach der Durchströmung, auf welche unsere Untersuchung des vorigen § sich nur erstreckt hat, die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke mit der Zeit für die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke nach der Durchströmung in der Genauigkeit, mit welcher wir sie vorhin constatirt haben, ohne wesentlichen Belang sind. Es sind also die letzteren Veränderungen Nachwirkungen der Durchströmung, wie wir sie im Eingange des vorigen § vorausgesehen haben, und es fällt uns die Aufgabe zu, sie auf die Nachwirkungen der drei Vorgänge in der Nervenstrecke, welche während der Durchströmung den Widerstand derselben verändern, — der Temperaturveränderung, der Elektrolyse und der Flüssigkeitsfortführung — zurückzuführen.

Zunächst muss die intrapolare Nervenstrecke nach der Oeffnung der Kette erkalten, bis sie die Temperatur der Umgebung angenommen hat: und zwar wird nach den allgemeinen Gesetzen der Erkaltung ihre Temperatur mit abnehmender Geschwindigkeit sinken. Danach wird die Curve $CC_1 t_2$ der Figur 7. die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke nach der Durchströmung in Folge ihrer Erkaltung im Ganzen und Grossen richtig darstellen.

Weiter müssen die am Ende der Durchströmung an den Gerüsttheilchen angesammelten Producte der Elektrolyse nach der Durchströmung in die unzersetzte Nervenflüssigkeit hineindiffundiren, und das Zusammentreffen der Anionen und Kationen resp. der Verbindungen, welche diese sogleich nach ihrer Abscheidung eingegangen sind, in der Nervenflüssigkeit muss jetzt dieselben Folgen wie während der Durchströmung haben. Es werden also die Producte der Elektrolyse bei ihrem Zusammentreffen in der Nervenflüssigkeit entweder gar nicht oder nur zum Theil Verbindungen mit einander eingehen (vgl. o. § 7), so dass der Widerstand der Nervenstrecke entweder ganz unverändert bleiben oder jedenfalls nur weniger wachsen wird, als er in Folge der Wiederherstellung des durch die zusammentreffenden Ionen repräsentirten Theiles der zersetzten Nervenflüssigkeit gewachsen wäre.

Dem angegebenen Verhalten der Ionen widerspricht durchaus nicht, wie besonders hervorgehoben zu werden verdient, die Zerstreuung, welche die innere Polarisation der Nervenstrecke nach der Oeffnung der Kette

erfährt. Allerdings scheint diese auf den ersten Blick dafür zu sprechen, dass es nach der Durchströmung zur Wiedervereinigung der an den Gerüsttheilchen angesammelten Producte der Elektrolyse und zur Wiederherstellung der durch dieselben repräsentirten zersetzten Nervenflüssigkeit kommt. Indessen ist schon im § 8. für die Zerstreuung der inneren Polarisation nach der Umkehrung der Stromrichtung angemerkt worden, wie aus ihr ein Beweis für die Wiedervereinigung der Ionen durchaus nicht abzuleiten ist, und die nämlichen Gründe lassen sich auch hier geltend machen. Gewiss werden nach der Durchströmung feuchter poröser Körper in vielen Fällen die Producte der Elektrolyse, nachdem sie in die unzersetzte Flüssigkeit hineindiffundirt sind, zu ihren ursprünglichen Verbindungen wieder zusammentreten. Aber für die Zerstreuung der inneren Polarisation ist dies keineswegs erforderlich: hierfür genügt es schon, dass die Ionen die regelmässige Anordnung, welche ihnen während der Dauer des Stromes zukam, aufgeben und den allgemeinen Gesetzen der Diffusion gemäss in der unzersetzten Flüssigkeit sich vertheilen. Und nur diese letzteren Vorgänge werden beim Nerven nach der Oeffnung der Kette für die Ionen mit Sicherheit in Anspruch zu nehmen sein.

Es bleibt aber ferner noch zu bedenken, dass die Nervenflüssigkeit durch die ganze Länge des Nerven hindurch in ununterbrochenem Zusammenhange steht, und dass in Folge dessen nach der Durchströmung eine Diffusion zwischen der in Folge der Durchströmung besser leitenden Nervenflüssigkeit der intrapolaren Nervenstrecke und der schlechter leitenden Nervenflüssigkeit der extrapolaren Nervenstrecken eintreten und, bis die Verschiedenheit von beiderlei Nervenflüssigkeit ausgeglichen ist, andauern muss. Halten wir diese Nachwirkung der Elektrolyse, durch welche der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke wachsen muss, mit der zuerst behandelten Nachwirkung zusammen, so wird, wenn die in der Nervenflüssigkeit zusammentreffenden Ionen gar keine Verbindungen eingehen, die Curve EE_2 der Fig. 7., wenn hingegen eine theilweise Wiedervereinigung der zusammentreffenden Ionen statthat, die Curve EE_1 derselben Figur die Widerstandsveränderungen, welche die intrapolare Nervenstrecke nach der Durchströmung in Folge der Nachwirkungen der Elektrolyse erfährt, im Ganzen und Grossen richtig darstellen.

Somit ist nur noch die Nachwirkung der Flüssigkeitsfortführung auf den Widerstand übrig, und diese muss sich jetzt, wenn anders unsere bisherigen Analysen richtig sind, durch die algebraische Subtraction der Ordinaten der Curven CC_1t_2 und EE_1 resp. EE_2 für jeden Punkt der Abscisse von den Ordinaten der Curve WW_1 ergeben. Wir erhalten so, falls EE_1 zu nehmen ist, die Curve AA_1, im anderen Falle, wenn EE_2 an die Stelle von EE_1 zu treten hat, die Curve AA_2 als die Curve der Wider-

standsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke in Folge der Nachwirkungen der Flüssigkeitsfortführung. Und da die Curven AA_1 und AA_2 im Wesentlichen gleiche Gestalt haben, so nimmt also der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke nach der Durchströmung in Folge der Nachwirkungen der Flüssigkeitsfortführung mit abnehmender Geschwindigkeit ab.

In der That liess sich nun auch dieses Ergebniss genau so voraussehen. Die stellenweise Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit, welche der Strom herbeigeführt hat, kann nach der Unterbrechung des Stromes nicht bestehen bleiben: vielmehr muss alsdann eine Abgleichung des Flüssigkeitsgehaltes zwischen den an Flüssigkeit ärmeren und den an Flüssigkeit reicheren Nervenstellen stattfinden und zwar, beiläufig bemerkt, nicht nur innerhalb der intrapolaren Nervenstrecke selbst, sondern auch, wiederum weil die Nervenflüssigkeit durch die ganze Länge des Nerven hindurch in ununterbrochenem Zusammenhange steht, zwischen der intrapolaren Nervenstrecke und den extrapolaren Nervenstrecken. Wie vorher durch die stellenweise Verarmung an Flüssigkeit der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke gewachsen war, muss er also jetzt durch die Flüssigkeitsrückkehr zu den vorher an Flüssigkeit verarmten Stellen wieder kleiner werden. Und da weiter der Flüssigkeitszufluss zu den verarmten Stellen desto grösser sein muss, je grösser die Verschiedenheit des Flüssigkeitsgehaltes der verschiedenen Nervenstellen ist, so muss auch die Widerstandsabnahme der intrapolaren Nervenstrecke nach der Durchströmung in Folge der Flüssigkeitsrückkehr mit abnehmender Geschwindigkeit erfolgen.

Hiermit ist zugleich die Erklärung dafür geliefert, dass die Geschwindigkeit der Widerstandsabnahme nach der Oeffnung der Kette desto grösser ist, je mehr der Widerstand durch den Strom zur Zeit der Oeffnung vergrössert war. Dagegen lässt sich noch nicht übersehen, weshalb der Widerstand, selbst wenn die Kette länger geöffnet bleibt, als sie vorher geschlossen war, seine ursprüngliche geringe Grösse nicht wiedererlangt. Diese letzte Erfahrung ist um so auffälliger, als ja der Widerstand der Nervenflüssigkeit in Folge der Elektrolyse verringert ist, und sie lässt keine andere Deutung zu, als dass die durch den Strom an Flüssigkeit verarmten Nervenstellen ihren anfänglichen Flüssigkeitsgehalt nie wiedergewinnen. Wirklich ist es auch dem folgenden § vorbehalten, die thatsächliche Bewährung dieser Deutung vorzuführen.

§ 11. Ueber die Gestaltsveränderungen des Nerven in Folge der Durchströmung.

In wie schönem Einklange unsere Erfahrungen über die Veränderungen der intrapolaren Nervenstrecke nach der Durchströmung mit unseren Erfahrungen über die Veränderungen derselben Strecke unter dem Einflusse des Stromes stehen, bedarf keiner Ausführung, und es kann nach allem Voraufgegangenen wohl kaum noch ein Zweifel bestehen bleiben an der Richtigkeit unserer Ermittelungen. Trotzdem wollen wir eine Möglichkeit, die sich uns noch bietet, unsere Ergebnisse bis zum Ueberflusse zu sichern, nicht unbeachtet lassen, um so weniger, als sie für Erfahrungen, welche wir im Detail durch mühsame Untersuchungen gewonnen haben, im Groben eine Bestätigung durch die blosse Besichtigung des Nerven in Aussicht stellt.

Nach unseren Ermittelungen hat unter dem Einflusse des Stromes eine stellenweise Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit statt, eine Verarmung, welche bald grösser bald kleiner und öfters sehr beträchtlich ist. Eine solche Verarmung muss aber mit einer Abnahme des Querschnittes der betreffenden Nervenstellen verbunden sein, und es müssen daher, wenn anders unsere Ergebnisse richtig sind, durch stellenweise Schrumpfung der intrapolaren Nervenstrecke Formveränderungen des Nerven herbeigeführt werden.

Dies ist in der That der Fall. Untersucht man einen Nerven, von welchem eine Strecke eine Zeit lang durchströmt worden ist, so findet man seinen Querschnitt in der Gegend, in welcher der Strom in den Nerven eintrat, verringert; und zwar ist die Stelle des Nerven, welche der Thonspitze der positiven Zuleitungsröhre auflag, am meisten verengt, und von ihr aus nimmt die Verengung am Nerven nach beiden Seiten hin — also sowohl in der intrapolaren Nervenstrecke wie in der der positiven Zuleitungsröhre benachbarten extrapolaren Nervenstrecke — allmählich ab. Die Verengung ist bald mehr bald weniger beträchtlich und bald mehr bald weniger seitlich ausgedehnt. Dabei ist die bezeichnete Strecke des Nerven in ihrer Dicke nicht gleichmässig geschrumpft, so dass ihr ursprünglich etwa kreisrunder Querschnitt auch kreisrund geblieben wäre und nur einen geringeren Durchmesser angenommen hätte; sondern die Schrumpfung betrifft fast ausschliesslich oder wenigstens vorwiegend die der Thonspitze der Zuleitungsröhre zugekehrte Hälfte des Nerven, so dass die walzenförmige Gestalt des Nerven in der bezeichneten Strecke verloren gegangen ist, und der Nerv hier eine gewissermassen sattelförmige Aushöhlung von allerdings nur geringer Steilheit erfahren hat. Die Schrumpfung des Nerven an der

der Thonspitze der positiven Zuleitungsröhre aufgelagerten Stelle kann sich auf mehr als ein Viertheil des Durchmessers des Nerven belaufen.

Sonst ist in der intrapolaren Nervenstrecke nirgends weiter eine Abnahme des Querschnittes bemerklich, und es zeigt sich im Gegentheil, wenn man die Nervenstrecke von der positiven zur negativen Zuleitungsröhre hin verfolgt, in dem letzten Stücke der Nervenstrecke eine allmählich wachsende Zunahme des Querschnittes, eine Anschwellung des Nerven, welche noch vor der negativen Zuleitungsröhre am grössten ist und von da an nach der Stromaustrittsstelle hin und über sie hinaus wiederum abnimmt. Die Anschwellung betrifft, wie es scheint, den Nerven in seiner ganzen Dicke gleichmässig, so dass hier die ohngefähr cylindrische Gestalt des Nerven sich erhalten zeigt, und sie ist stets viel weniger auffällig als die Schrumpfung des Nerven in der Gegend der positiven Zuleitungsröhre.

Für die erste Wahrnehmung der eben beschriebenen Formveränderungen, welche Fig. 8. schematisch darstellt, thut man gut sich an einen Nerven zu halten, in welchem durch den Strom, wie die Untersuchung während der Durchströmung ergeben hat, eine beträchtliche Verarmung herbeigeführt ist. Wegen der Veränderlichkeit des Querschnittes des Ischiadicus lässt man dabei vortheilhaft den Strom eine Strecke zwischen der Abgangsstelle der Oberschenkeläste und der Theilungsstelle durchfliessen, weil zwischen diesen beiden Stellen der Querschnitt des Ischiadicus nach der Peripherie hin zuerst allmählich abnimmt und darauf ganz allmählich zunimmt [vgl. u. Kap. III. § 2 (1)], so dass man bei den langen Nerven grosser Frösche und bei einer nicht über 6—8^{mm} ausgedehnten intrapolaren Nervenstrecke diese Strecke ohne Fehler als ursprünglich durchweg von gleichem Querschnitte annehmen kann: überdies hat man noch darin, dass man den Strom das eine Mal absteigend, das andere Mal aufsteigend den Nerven durchsetzen lässt, ein Mittel, jeden Skrupel in Folge der ursprünglichen Querschnitts-Veränderlichkeit des Ischiadicus fortzuschaffen. Alsdann kann man zur Beobachtung beliebiger durchströmter Nervenstrecken auch kleiner Frösche und zur Untersuchung von Fällen geringerer Verarmung übergehen, und es werden sich, so lange die Verarmung durch den Strom nicht gar zu gering gewesen ist, die Formveränderungen des Nerven, jedenfalls mit Hülfe der schwachen Vergrösserungen eines zusammengesetzten Mikroskopes, leicht auch hier constatiren lassen. Schliesslich gelangt man bei einiger Uebung dahin, an jedem durchströmten Nerven, wenn die Durchströmung nicht gar zu kurze Zeit gedauert hat und die Stromintensität nicht gar zu gering gewesen ist, einfach mit blossem Auge oder höchstens mit Hülfe der Lupe nach den Form—

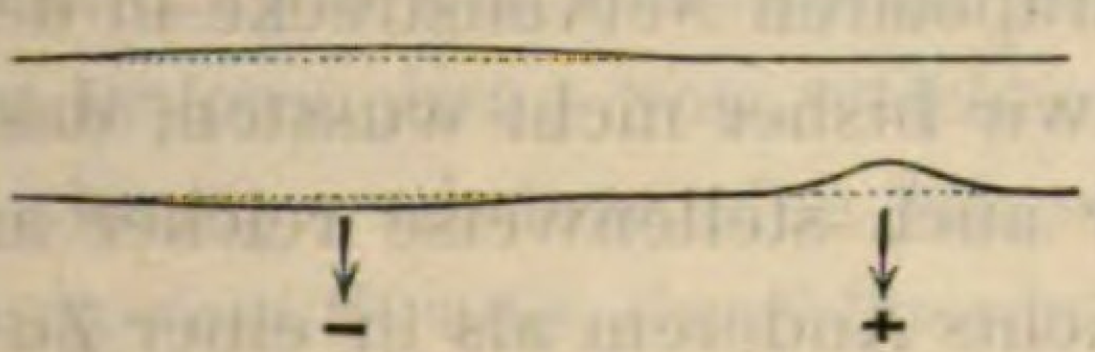


Fig. 8.

veränderungen des Nerven die Stromeintrittsstelle genau bestimmen zu können: die Stromaustrittsstelle anzugeben, ist viel schwieriger, und es kommen häufig Täuschungen vor.

Bei der Verschiedenheit der auf der Seite der positiven und der negativen Zuleitungsröhre auftretenden Formveränderungen des Nerven ist es schon von vornherein selbstverständlich, und man gewinnt zum Ueberfluss noch durch besondere Versuche die Gewissheit, dass in Folge des selbst Stunden und Tage langen Liegens des Nerven auf den Thonspitzen der Zuleitungsröhren, ohne dass der Nerv durchströmt wird, keine der geschilderten Formveränderungen eintritt. Sind diese Formveränderungen demnach Folgen der Durchströmung, so haben wir in der Schrumpfung der intrapolaren Nervenstrecke in der Gegend der positiven Zuleitungsröhre, wie wir voraussahen, eine ganz zweifellose Bestätigung der früher erschlossenen stellenweisen Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit durch den Strom aufgefunden. Daneben aber lernen wir zugleich auch durch die Anschwellung der intrapolaren Nervenstrecke in der Gegend der negativen Zuleitungsröhre, was wir bisher nicht wussten, dass die intrapolare Nervenstrecke complementär auch stellenweise reicher an Flüssigkeit durch den Strom wird, da in nichts Anderem als in einer Zunahme des Flüssigkeitsgehaltes der betreffenden Stellen jene Anschwellung begründet sein kann.

Des Weiteren interessiren uns die erkannten Formveränderungen des durchströmten Nerven vor der Hand nicht, und nur mit ihrer Constatirung sind noch einige Wahrnehmungen verknüpft, auf welche wir zu sprechen kommen müssen.

Geht man so rasch wie möglich nach der Unterbrechung des Stromes an die Untersuchung des Nerven, so sieht man öfters die anfangs deutliche Anschwellung des Nerven in der Stromaustrittsgegend mit der Zeit und zwar sehr bald ganz undeutlich werden. Auch die Verengung des Nerven an der Stromeintrittsstelle scheint dann mit der Zeit etwas geringer zu werden und daneben vielleicht noch an Ausdehnung in der Länge des Nerven zu verlieren. Diese Erfahrungen weisen darauf hin, dass die durch den Strom gesetzten Formveränderungen des Nerven nach der Durchströmung sich zurückbilden, wie es ja auch jetzt nach unseren Ermittelungen in den vorhergehenden §§ selbstverständlich ist. Indessen können jene Erfahrungen doch nur als spurweise Wahrnehmungen des wirklichen Verhaltens gelten, und erst durch eine andauernde mikroskopische Beobachtung des Nerven während und nach der Durchströmung werden genauere Daten über die Heranbildung und die Rückbildung der Formveränderungen des Nerven sich gewinnen lassen. Der complicirten Vorbereitungen wegen, welche eine solche Beobachtung erfordert, ist sie hier unterblieben, da wir für

unsere Zwecke mit den allgemeinsten Thatsachen über die Formveränderungen uns zufrieden geben dürfen. So ist auch das die Rückbildung betreffende Factum, das für uns noch besonders werthvoll ist, ohne alle Umstände zu constatiren, dass nämlich auch dann, wenn der Nerv nach 15—20 Minuten langer Durchströmung viel länger und selbst mehrere Stunden lang auf den Thonspitzen der Zuleitungsröhren oder sonst irgendwo in der feuchten Kammer gelagert aufbewahrt worden ist, die Verengung des Nerven an der Stromeintrittsstelle immer noch deutlich zu erkennen ist. Es ist dies die im § 10. versprochene thatsächliche Bewährung der Deutung, zu welcher wir dort uns genöthigt sahen: die Rückbildung der durch den Strom gesetzten Veränderungen nach der Durchströmung ist nur unvollkommen, indem die an Flüssigkeit verarmten Stellen der intrapolaren Nervenstrecke nie wieder so reich, wie ursprünglich, an Flüssigkeit werden.

Selbst durch den Strom in der umgekehrten Richtung wird den einmal verarmten Nervenstellen der alte Flüssigkeitsgehalt nicht wiederverschafft. Um sich hiervon zu überzeugen, hat man nur nöthig, einen Nerven zu untersuchen, von welchem eine Strecke eine Zeit lang in der einen Richtung und dann eine längere Zeit hindurch in der umgekehrten Richtung vom Strome durchflossen worden ist: man findet alsdann die oben von der Stromeintrittsstelle geschilderten Formveränderungen, etwa gleich stark ausgeprägt, sowohl an der neuen Stromeintrittsstelle wie an der neuen Stromaustrittsstelle, und nur die Anschwellung des Nerven zur Seite der neuen Stromaustrittsstelle zeigt, wenn sie überhaupt deutlich ist, die Richtung an, in welcher zuletzt der Strom den Nerven durchflossen hat. Beiläufig liefert diese Beobachtung eine schöne Bestätigung dessen, was wir oben im § 5. anderweitig erschlossen haben, dass es nämlich verschiedene Stellen der intrapolaren Nervenstrecke sind, welche nach der Umkehrung der Stromrichtung an Flüssigkeit ärmer uud reicher werden.

Woher es kommt, dass die einmal verarmten Nervenstellen ihren ursprünglichen Flüssigkeitsgehalt nicht wiedergewinnen, das zu specificiren, dürfte für den Augenblick misslich sein. Jedenfalls ist der Grund nur in einer gerade durch die Verarmung selbst herbeigeführten Veränderung der verarmten Nervenstellen zu suchen.

Uebrigens sind die geschilderten Formveränderungen durchaus nicht die einzigen Veränderungen, welche man an dem durchströmten Nerven wahrnimmt. Häufig erscheint die Stromeintrittsgegend auffallend undurchsichtiger als die übrige Strecke des Nerven, und die sonst wohlerhaltene *Fontana*'sche Bänderung ist in eben der Gegend mehr oder weniger verstrichen. Auch Consistenzveränderungen der Stromeintrittsgegend machen sich bemerklich, indem die Möglichkeit, den Nerven wie ein weiches Band an jeder Stelle zu falten, für die Stromeintrittsstelle und ihre Nachbar-

strecken zu beiden Seiten verloren gegangen ist, so dass der Nerv bei dem Versuche, ihn hier zu falten, einknickt. Alle diese Veränderungen stehen, wie man leicht übersieht, in ebenso innigen Beziehungen, wie die Formveränderungen, zu den mit Hülfe der Widerstandsveränderungen von uns erforschten inneren Vorgängen in der durchströmten Nervenstrecke und verdienen eine genauere Untersuchung.

§ 12. Nachträgliche Bemerkungen zu unserer Zurückführung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke.

Durch das Studium der Gestaltsveränderungen des durchströmten Nerven sind wir im vorigen § nicht nur zu der gewünschten Bestätigung der stellenweisen Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit durch den Strom gelangt, sondern wir haben dazu noch die neue Erfahrung gewonnen, dass die intrapolare Nervenstrecke complementär auch stellenweise reicher an Flüssigkeit durch den Strom wird. Diese neue Erfahrung nöthigt uns, auf unsere Analyse der Widerstandsveränderungen, welche die intrapolare Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes erfährt, noch einmal zurückzukommen. Offenbar muss der Widerstand der Nervenstrecke, wie er in Folge der stellenweisen Verarmung der Nervenstrecke wächst, in Folge ihres complementären stellenweisen Reicherwerdens an Flüssigkeit kleiner werden: und da eine solche Abnahme des Widerstandes bei unserer Analyse oben ganz ausser Acht geblieben ist, sehen wir die Richtigkeit unserer Analyse jetzt bedenklich in Frage gestellt.

Indessen scheint doch glücklicher Weise unsere Analyse viel mehr gefährdet, als sie es in Wirklichkeit ist. Zu den Abnahmen des Widerstandes in Folge der Erwärmung und in Folge der Elektrolyse gesellt sich, wie wir jetzt wissen, als dritte die Abnahme in Folge des complementären Reicherwerdens der Nervenstrecke an Flüssigkeit, und alle drei Abnahmen werden nach der Schliessung der Kette von der Zunahme des Widerstandes in Folge der stellenweisen Verarmung der Nervenstrecke überwunden. Daraus geht schon hervor, dass hinsichts des Einflusses auf den Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke ihr complementäres Reicherwerden bedeutend überwiegt. Erwägt man nun gar weiter, wie beträchtlich wir den Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes wachsen sehen, und wie sehr dieser Widerstand schon in Folge der Erwärmung allein unter den den Widerstand verringernden Ursachen hätte abnehmen müssen, so kann wohl kaum einem Bedenken unterliegen die Berechtigung, die Widerstandsveränderung der Nervenstrecke in Folge ihres complementären Reicherwerdens an Flüssigkeit als verschwindend anzusehen gegen die Wider-

standsveränderung der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung. Und dasselbe ergiebt sich, wenn wir uns noch genauer an das Detail unserer Analyse halten, wie es in der Fig. 6. graphisch gegeben ist, aus der Beschaffenheit der Curve $\dot{O}A$, da diese durch die algebraische Subtraction der Ordinaten der Curven $\dot{O}C$ und $\dot{O}E$ von den Ordinaten der Curve $\dot{O}W$ gewonnene Curve nach unserer neuen Erfahrung nicht mehr als die Curve der Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung, sondern vielmehr als die Summencurve dieser letzteren Curve und der Curve der Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge ihres complementären Reicherwerdens an Flüssigkeit anzuerkennen wäre. Es kann also unsere Analyse der Widerstandsveränderungen, welche die intrapolare Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes erfährt, wie sie oben im § 7. durchgeführt und in der Fig. 6. graphisch dargestellt ist, unverändert bestehen bleiben.

Es hält auch nicht schwer Rechenschaft zu geben, woher es kommt, dass die stellenweise Verarmung und das complementäre stellenweise Reicherwerden der Nervenstrecke an Flüssigkeit durch den Strom den Widerstand der Nervenstrecke in so verschiedenem Grade beeinflussen.

Der eigenthümlichen Leitung des Stromes in den feuchten porösen Körpern gemäss [s. Abschn. I. Kap. I. § 1 (4)] lassen sich die verschiedenen Wege, welche dem Strome in einem solchen Körper offen stehen, als parallele Zweige des Schliessungskreises auffassen, und der Widerstand des Körpers ist alsdann durch den Gesammtwiderstand dieser Zweige gegeben. Bei dem Nerven, der frisch wesentlich besser leitet als destillirtes Wasser, trocken aber als Nichtleiter gilt, ist, wenn auch sein Gerüst ein zusammenhängendes Ganzes vorstellt, der vom Gerüste allein gebildete Stromzweig doch zu vernachlässigen, weil gegen dessen Widerstand der Widerstand der beiden anderen Stromzweige verschwindet; und es ist daher, wenn wir für die intrapolare Nervenstrecke vor ihrer Durchströmung durch w_f den Widerstand des von der Nervenflüssigkeit allein und durch w_g den Widerstand des von den Gerüsttheilchen mit der zwischen ihnen befindlichen Flüssigkeit gebildeten Stromzweiges gegeben nehmen, der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke vor ihrer Durchströmung

$$w_n = \frac{w_f w_g}{w_f + w_g},$$

wo eben der sehr geringen Leitungsfähigkeit der Gerüsttheilchen wegen w_f, wenn es auch, wie die innere Polarisation des Nerven beweist, nicht ganz verschwindet, so doch sehr klein ist gegen w_g. Indem nun unter dem Einflusse des Stromes die einen Stellen der Nervenstrecke an Flüssigkeit verarmen, während andere Stellen complementär an Flüssigkeit reicher werden, muss w_f beträchtlich zunehmen. Denn wie es gelegentlich schon

du Bois-Reymond als Resultat der Anschauung und auch angenäherter Versuche hingestellt hat[1], ist von allen Rotationskörpern von gleichem Rauminhalte und gleicher Axenlänge der Cylinder der Körper von geringstem Widerstande für einen in der Richtung der Axe fliessenden Strom, so dass der Widerstand eines Körpers bei constanter Masse und Länge desselben mit seiner Abweichung von der Walzenform zunimmt; und zwar muss diese Zunahme, wie die Anschauung weiter leicht ergiebt, sehr rasch wachsen mit dem kleinsten Querschnitte, welchen der Körper an einer Stelle gewinnt. In unserem Falle wird aber an der Nervenflüssigkeit, wenn man sie als Körper für sich allein betrachtet, durch die Veränderungen des Flüssigkeitsgehaltes der verschiedenen Stellen der Nervenstrecke nicht nur die schon von vorn herein vorhandene Abweichung von der Walzenform offenbar vergrössert, sondern es nimmt auch, wie die Verengung der intrapolaren Nervenstrecke, welche wir im vorigen § kennen gelernt haben, da sie bei unverändertem Gerüste erfolgt, lehrt, der kleinste Querschnitt der Nervenflüssigkeit sehr rasch ab. Die mittelbare Folge der stellenweisen Verarmung und des complementären Reicherwerdens der Nervenstrecke an Flüssigkeit muss demnach ein sehr beträchtliches Wachsen von w_n sein, was nichts Anderes besagt, als dass hinsichts des Einflusses auf den Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke ihr complementäres Reicherwerden bedeutend überwiegen muss.

Recht eclatant tritt Alles, was eben in Betracht kam, im Extrem hervor, wenn man nämlich in der Vorstellung ein kleines Stück der intrapolaren Nervenstrecke durch den Strom mehr und mehr Flüssigkeit verlieren lässt, bis schliesslich in einem einzelnen Querschnitte des Stückes die gewissermassen Zwischenplatten vorstellenden Gerüsttheilchen dicht an einander stossen, so dass die Oeffnungen zwischen den Gerüsttheilchen, durch welche die Hohlräume zu beiden Seiten der Gerüsttheilchen vorher mit einander communicirten, verloren gegangen sind: alsdann wird die Verengung der Nervenstrecke an der betreffenden Stelle, wie die Dicke des trockenen Nerven dem frischen gegenüber beweist, gar nicht allzu bedeutend sein, und doch wird der Widerstand der Nervenflüssigkeit unendlich gross und in Folge dessen der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke, der vor der Durchströmung nahezu $= w_f$ war, jetzt $= w_g$ sein. Ist nun aber auch nachgewiesen, dass das Ueberwiegen der stellenweisen Verarmung einfach in der Gestaltsveränderung, welche die Nervenflüssigkeit der intrapolaren Nervenstrecke durch den Strom erfährt, seine Erklärung finden kann, so ist doch dadurch begreiflich keineswegs ausgeschlossen, dass

1) *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 79 ff. *

in Wirklichkeit noch andere Ursachen für das Ueberwiegen hinzukommen. Eine solche Ursache ist sicherlich das Wachsen von w_g, welches mit fortschreitender Verarmung, wie leicht ersichtlich ist, mit zunehmender Geschwindigkeit statthaben muss und nur der Einfachheit der Darstellung zu Liebe vorhin übergangen worden ist. Und weiter ist daran zu denken, dass vielleicht die intrapolare Nervenstrecke, statt, wie oben stillschweigend angenommen worden ist, in ihrer Masse unverändert zu bleiben, eine Einbusse an Masse durch den Strom erfährt. Denn so wenig eine solche Einbusse auf Grund unserer Erfahrungen sich behaupten oder selbst nur wahrscheinlich machen lässt, weil, wenn auch die Verengung der Nervenstrecke in der Stromeintrittsgegend beträchtlicher ist als die Anschwellung in der Stromaustrittsgegend, die letztere dafür über ein grösseres Stück der intrapolaren Nervenstrecke ausgedehnt scheint als die erstere; so wenig lässt sich doch auf Grund unserer Erfahrungen die Möglichkeit bestreiten, dass die einen Stellen der Nervenstrecke nicht so viel an Flüssigkeit gewinnen, als die anderen Stellen an Flüssigkeit verlieren. Nimmt aber in Wahrheit die Gesammtmenge der in der intrapolaren Nervenstrecke enthaltenen Nervenflüssigkeit durch den Strom ab, so ist damit noch eine fernere Ursache für das Ueberwiegen der stellenweisen Verarmung gegeben.

Nachdem wir so unsere Analyse der Widerstandsveränderungen, welche die intrapolare Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes erfährt, gesichert haben, müssen wir noch einen Augenblick verweilen bei unseren anderen Analysen, deren Basis jene Analyse gewesen ist. Auch deren Richtigkeit könnte jetzt Bedenken unterliegen. Denn wenn unter dem Einflusse des Stromes neben der stellenweisen Verarmung noch ein complementäres stellenweises Reicherwerden der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit einhergeht, werden offenbar nach der Unterbrechung des Stromes wie nach der Umkehrung der Stromrichtung nicht nur die vorher verarmten Stellen der Nervenstrecke wieder an Flüssigkeit reicher werden, sondern es werden zugleich — wie es ja auch unmittelbar einzelne bei dem Studium der Gestaltsveränderungen von uns gemachte Beobachtungen (s. o. S. 106—7.) lehren — die vorher complementär an Flüssigkeit reicher gewordenen Stellen der Nervenstrecke wieder complementär an Flüssigkeit verarmen müssen: und diese letztere Verarmung ist bei der betreffenden Analyse oben ausser Acht geblieben. Nach der vorhin gegebenen Rechenschaft versteht es sich aber von selbst, dass, wenn die durch den Strom gesetzten Veränderungen des Flüssigkeitsgehaltes der verschiedenen Stellen der Nervenstrecke eine Rückbildung erfahren, alsdann auch umgekehrt die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der complementären stellenweisen Verarmung verschwinden muss gegen ihre Widerstandsabnahme in Folge des stellenweisen Reicherwerdens an Flüs-

sigkeit. Es können daher auch unsere Analysen der Widerstandsveränderungen, welche die intrapolare Nervenstrecke nach der Umkehrung der Stromrichtung und nach der Unterbrechung des Stromes erfährt, wie sie in den §§ 5., 8. und 10. durchgeführt und in den Figg. 5. und 7. graphisch dargestellt sind, unverändert bestehen bleiben.

Fassen wir nun Alles zusammen, so lässt sich als allgemeingültiger Zusatz für die in den §§ 3—10. gegebenen Analysen Folgendes hinstellen: Wie die Gestaltsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke in Folge des Stromes lehren, sind die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit unter dem Einflusse des die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes und das stellenweise Reicherwerden der Nervenstrecke an Flüssigkeit nach der Umkehrung der Stromrichtung wie nach der Unterbrechung des Stromes, welche wir früher constatirt haben, ganz oder wenigstens im Wesentlichen der Ausdruck nicht einer Abnahme resp. Zunahme der Gesammtmenge der in der intrapolaren Nervenstrecke enthaltenen Nervenflüssigkeit, sondern vielmehr einer Verschiebung der Nervenflüssigkeit gegen das feste poröse Gerüst des Nerven, indem unter dem Einflusse des die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes auch ein complementäres stellenweises Reicherwerden und nach der Umkehrung der Stromrichtung wie nach der Unterbrechung des Stromes auch eine complementäre stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit statthat. Doch bleiben unsere Analysen der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke von dieser neuen Erfahrung durchaus unbehelligt, weil gegen die zuerst von uns constatirten stellenweisen Veränderungen die complementären stellenweisen Veränderungen des Flüssigkeitsgehaltes der Nervenstrecke hinsichts ihres Einflusses auf den Widerstand der Nervenstrecke verschwinden.

Hiermit ist die Schwierigkeit, welche das Studium der Gestaltsveränderungen der Nervenstrecke unerwartet erhob, beseitigt und unsere Zurückführung der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke abgeschlossen. Doch wird es am Orte sein, zum Schlusse noch zweierlei hier anzumerken.

Seitdem wir im Eingange des § 7. uns genöthigt sahen, zur Erklärung der Widerstandsabnahme der intrapolaren Nervenstrecke, welche unter dem andauernden Einflusse des Stromes nach der anfänglichen Widerstandszunahme zur Beobachtung kommt, die Elektrolyse zu Hülfe zu rufen, haben wir im weiteren Verlaufe der Untersuchung die Flüssigkeitsfortführung durch den Strom auf zwei Weisen eine Abnahme des Widerstandes der Nervenstrecke zur Folge haben sehen: unmittelbar bei bestehendem Strome durch das stellenweise Reicherwerden der Nervenstrecke an Flüssigkeit und mittelbar nach der Unterbrechung des Stromes durch die

Flüssigkeitsrückkehr zu den vorher an Flüssigkeit verarmten Nervenstellen. Man könnte dadurch vielleicht versucht sein, die eine oder die andere Weise zur Erklärung jener Widerstandsabnahme an Stelle der Elektrolyse zu verwenden. Indess geht dies keineswegs an. Jeder solcher Versuch muss, um bei vielen anderen Gründen uns nicht aufzuhalten, unbedingt scheitern an der langen Dauer der Widerstandsabnahme der Nervenstrecke bei ihrer Durchströmung, bevor der Widerstand von Neuem zunimmt: denn diese lange Dauer ist eben nur erklärlich, wenn mit der Widerstandsabnahme der Nervenstrecke zugleich eine Abnahme des specifischen Widerstandes der Nervenflüssigkeit, wie sie nur die Elektrolyse bedingt, verbunden ist.

Die zweite Bemerkung richtet sich an diejenigen, welche etwa Bedenken tragen sollten, gegen die zuerst von uns constatirten stellenweisen Veränderungen die complementären stellenweisen Veränderungen des Flüssigkeitsgehaltes der Nervenstrecke hinsichts ihres Einflusses auf den Widerstand der Nervenstrecke mit uns ganz verschwinden zu lassen. Unbeschadet der Folge unserer Untersuchung dürfen diese hier dabei stehen bleiben, dass sie einmal die Curve OA in den Figg. 5., 6. und 7. wie die Curve $t_1 A_1$ in der zweiten Hälfte der Fig. 5. als die Summencurve der Curve der grossen Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung und der Curve der sehr kleinen Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge ihres stellenweisen Reicherwerdens an Flüssigkeit — und wiederum die Curve AR resp. AR_1 der zweiten Hälfte der Fig 5. wie die Curve AA_1 resp. AA_2 des zweiten Stückes der Fig. 7. als die Summencurve der Curve der sehr grossen Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge ihres stellenweisen Reicherwerdens und der Curve der sehr kleinen Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit anerkennen[1]. Wenn sie nur im Folgenden unsere Darstellung ihrem Standpunkte gemäss werden modificiren wollen, werden sie überall zu denselben Ergebnissen wie wir gelangen. Leider können wir aber diese Mühe ihnen nicht ersparen, dadurch dass wir ihren Standpunkt im Weiteren stets berücksichtigten, weil die ohnehin schon mühevolle und schwerfällige Darlegung der Untersuchung sonst eine ganz unüberwindliche Verwickelung erfahren würde.

1) Die danach erforderliche Berichtigung unserer graphischen Darstellungen bietet weiter keine Schwierigkeit, sobald man festhält, dass die zuerst von uns constatirten und die complementären Veränderungen des Flüssigkeitsgehaltes der Nervenstrecke im Ganzen denselben Verlauf nehmen müssen.

Kapitel III.

Von dem Einflusse verschiedener Umstände auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke und auf die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke.

In den Versuchen des Kap. II. hatten hinsichts des Nerven und hinsichts seiner Durchströmung mannigfache Verschiedenheiten statt: die Nerven, welche wir zu den Versuchen verwandten, waren bald lebend bald todt, bald dick bald dünn, bald sehr lebensfähig bald nur wenig lebensfähig; die Ströme, welche wir die Nerven durchfliessen liessen, hatten verschiedene Intensität; die durchströmten Nervenstrecken waren verschieden lang u. dgl. mehr. Dadurch sind wir zu einer ganz allgemeinen Kenntniss der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke gelangt und haben die breiteste Grundlage für ein specielleres Studium gewonnen. In das letztere wollen wir nunmehr eintreten und den Einfluss der verschiedenen Umstände auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke ermitteln.

Die Umstände, welche hier in Frage kommen, sind die Intensität und die Richtung des Stromes im Nerven, die Länge der durchströmten Nervenstrecke und die Länge des Nerven zu beiden Seiten dieser Strecke, die anatomisch bestimmte Lage der durchströmten Strecke am Nerven, die Grösse (Dicke) des Nerven und die Grösse seiner Berührungsflächen mit den Zuleitungsröhren, die Temperatur des Nerven, die Lebensfähigkeit des Nerven zur Zeit seiner Trennung vom lebenden Gesammtorganismus und die Veränderungen, welche er mit der Zeit nach seiner Trennung bereits erfahren hat, endlich die etwa voraufgegangene Durchströmung des Nerven. Alle diese Umstände werden jetzt bis auf den einen, dessen Einfluss gerade Gegenstand der Untersuchung sein wird, constant zu halten sein; es wird aber auch die Gesammtheit der constant gehaltenen Umstände, in Folge der Variabilität eines jeden zugehörigen Umstandes, für den einzelnen auf seinen Einfluss zu untersuchenden Umstand immer noch eine vielfach verschiedene sein müssen.

Die so umrissene grösste und fast unabsehbare Ausdehnung sind wir indess weit entfernt der neuen Untersuchung, welche wir vorhaben, geben zu wollen: wir stecken ihr vielmehr enge Grenzen, so dass wir nur, so weit es uns gerade wünschenswerth ist, die Abhängigkeit der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke kennen lernen. Die Gesichtspunkte, welche uns bei der Führung der Untersuchung leiten, werden aus der Folge klar werden, und nur Eines dürfen wir nicht unterlassen hier voraufzuschicken.

Die Kenntniss der Abhängigkeit der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke wird sicher eine werthvolle Errungenschaft der Untersuchung sein. Da wir aber die Widerstandsveränderungen weniger um ihrer selbst willen studiren als vornehmlich der Einsicht wegen, welche sie uns in die inneren Vorgänge in der Nervenstrecke verschaffen, könnte es auffallen, dass wir überhaupt in die vorbezeichnete Untersuchung eintreten. Denn die Erwärmung, die Elektrolyse und die Flüssigkeitsfortführung durch den Strom müssen offenbar auch im Nerven den bekannten allgemeinen Gesetzen dieser Vorgänge unterworfen sein, und wir haben ja selbst schon oben bei der Zurückführung der Widerstandsveränderungen im Kap. II. von diesem Postulate vielfachen Gebrauch gemacht. Es kann sonach nicht die Rede davon sein, die Abhängigkeit jener Vorgänge im Nerven nunmehr erst ermitteln zu wollen: vielmehr scheint unsere neue Untersuchung nur die Richtigkeit der im Kap. II. gegebenen Analyse der Widerstandsveränderungen bestätigen zu können, wofern gewisse Abhängigkeiten der Widerstandsveränderungen, wie die von der Stromintensität, unmittelbar und die anderen Abhängigkeiten mittelbar auf die allgemeinen Gesetze der Erwärmung, der Elektrolyse und der Flüssigkeitsfortführung durch den Strom sich zurückführen lassen. Und eine solche Bestätigung mag auf der einen Seite vielleicht noch wünschenswerth, auf der anderen Seite aber kann sie — zumal in Anbetracht des erforderlichen Aufwandes an Zeit und Mühe — ganz überflüssig erscheinen.

Bei der Ueberlegung eben ist jedoch übersehen, dass unsere Analyse der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke uns nicht unmittelbar auf die Flüssigkeitsfortführung in der Nervenstrecke, sondern auf eine Folge derselben, die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit, geführt hat, — und dies Moment verändert die ganze Sachlage. Sind auch die Gesetze der Flüssigkeitsfortführung im Allgemeinen bekannt, so ist doch zur Zeit noch in ein tiefes Dunkel gehüllt die stellenweise Verarmung an Flüssigkeit, welche feuchte poröse Körper unter Umständen unter dem Einflusse des Stromes erfahren [s. Abschn. I. Kap. I. § 2 (6—11)]. Alles kommt aber darauf an, dass wir dieses Dunkel für den Nerven erhellen. Ein Mittel hierzu ist unverkennbar das Studium der Abhängigkeit der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke, indem es uns die Möglichkeit bietet, die Abhängigkeit jener Verarmung von verschiedenen Umständen festzustellen; und dieses Mittel ziehen wir zunächst in Anwendung. Ein anderes Mittel, für welches die Untersuchung der Gestaltsveränderungen des Nerven in Folge der Durchströmung bereits bedeutsame Anhaltspunkte uns geliefert hat, soll alsdann im folgenden Kapitel uns beschäftigen.

§ 1. Von dem Einflusse der Stromintensität.

(1.) Von dem Einflusse der Stromintensität auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke.

Den Einfluss der Intensität des die Nervenstrecke durchfliessenden Stromes auf die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke zu erforschen, bieten sich uns zwei Verfahren dar: wir können einmal während der Durchströmung eines Nerven die Intensität des den Nerven durchsetzenden Stromes verändern und so an dem einzelnen Nerven die Folgen dieser Veränderung uns vorführen; und wir können zweitens auf eine ganze Anzahl von Nerven unter sonst gleichen Umständen Ströme verschiedener Intensität einwirken lassen und die Widerstandsveränderungen der von verschieden starken Strömen durchflossenen Nervenstrecken vergleichen. Bei dem zweiten Verfahren haben wir sofort in ihrer vollen Ausdehnung die schwierige Aufgabe zu lösen, alle oben genannten, die Widerstandsveränderungen möglicher Weise beeinflussenden Umstände constant zu erhalten; bei dem ersten Verfahren fällt diese Aufgabe fort, und nur der Einfluss der voraufgegangenen Durchströmung ist zu eliminiren. Da nun zudem das zweite Verfahren erst durch ganze Reihen von Versuchen denselben Erfolg verspricht, welchen das andere Verfahren schon durch eben so viele Einzelversuche in Aussicht stellt, scheint das erste Verfahren unbedingt den Vorzug zu verdienen.

(a. Erstes Versuchsverfahren.)

Um es in's Werk zu setzen, verändern wir unsere bisherige Versuchsanordnung Fig. 1. so, dass wir die Intensität des den Nerven durchsetzenden Stromes plötzlich vergrössern und verkleinern können, und zwar für eine Reihe I von Versuchen, wie es die Fig. 9. — für eine andere Reihe II von Versuchen, wie es die Fig. 10. zeigt.

Für die Versuchsreihe I sind in die ungespaltene Strecke des Stromnetzes neben der Kette oder Säule K zwei Quecksilbernäpfchen Q_1 und Q_2, welche wohl isolirt auf einer Glasplatte neben einander befestigt sind, aufgenommen. In diese tauchen die amalgamirten Kupferhaken H_1 und H_2, welche mit den Polen einer zweiten Kette oder Säule K_1 so in Verbindung gesetzt sind, dass die Ströme von K und K_1 im Schliessungskreise gleich gerichtet sind. Durch den schwebend gezeichneten Bügel *Bg* — einen ganz kurzen dicken Kupferdraht mit amalgamirten Enden — können aber die beiden Quecksilbernäpfchen ausserdem noch verbunden werden. Ist der Bügel *Bg* mit seinen Enden in Q_1 und Q_2 versenkt, so bildet er für den Strom von K_1 eine sehr gute Nebenschliessung zu unserem Versuchskreise, und nur ein sehr kleiner Bruchtheil des Stromes von K_1 wird durch die

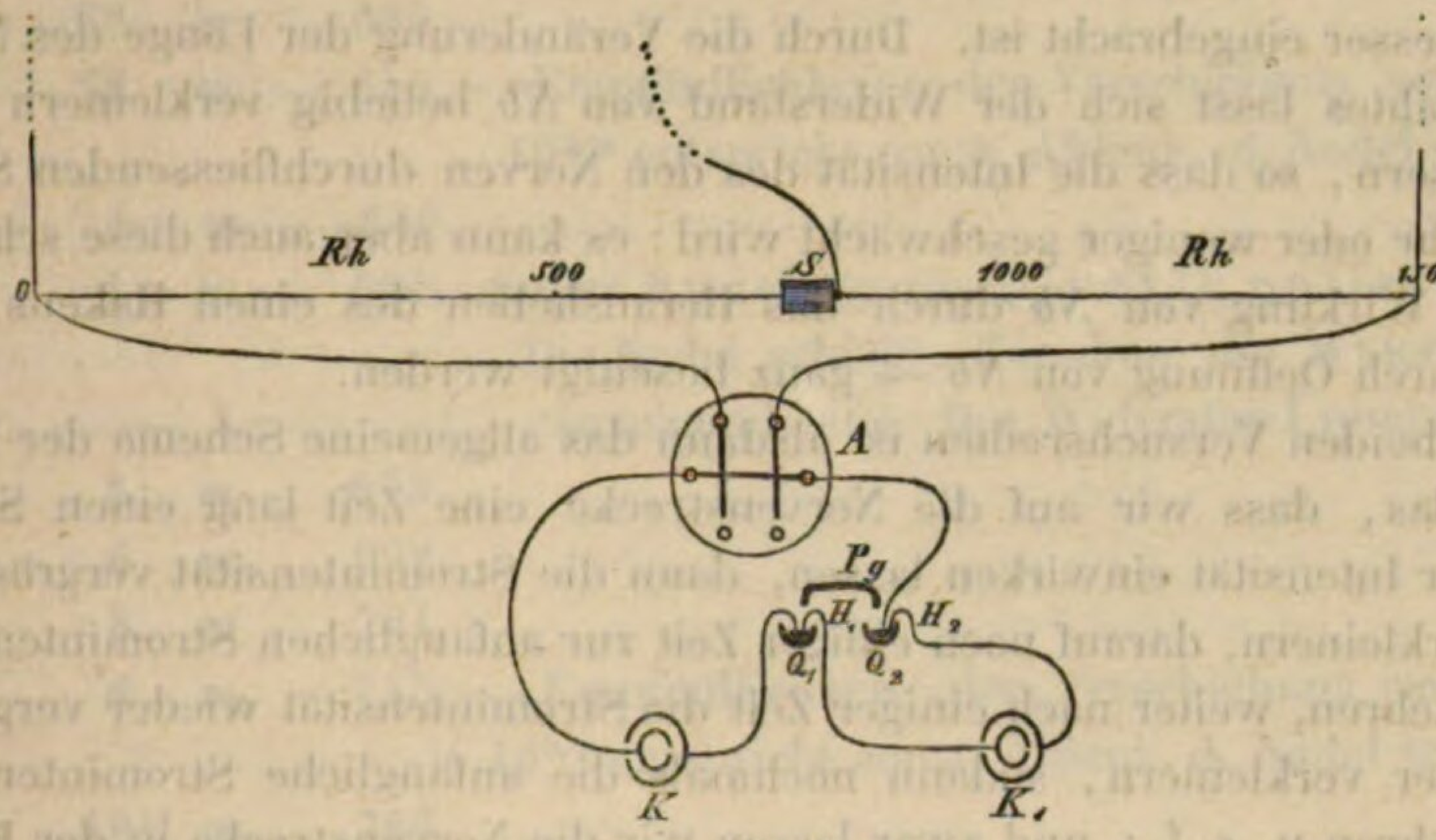


Fig. 9.

gespaltene Strecke des Stromnetzes sich ergiessen; ist *Bg* aber aus Q_1 und Q_2 herausgenommen, so fügt zu dem Strome von *K* der volle Strom von K_1 sich hinzu.

Für die Versuchsreihe II bringen wir bei unveränderter ungespaltener Strecke des Stromnetzes eine Nebenschliessung *Nb* zur gespaltenen Strecke unseres Stromnetzes an, so dass diese jetzt aus drei parallelen

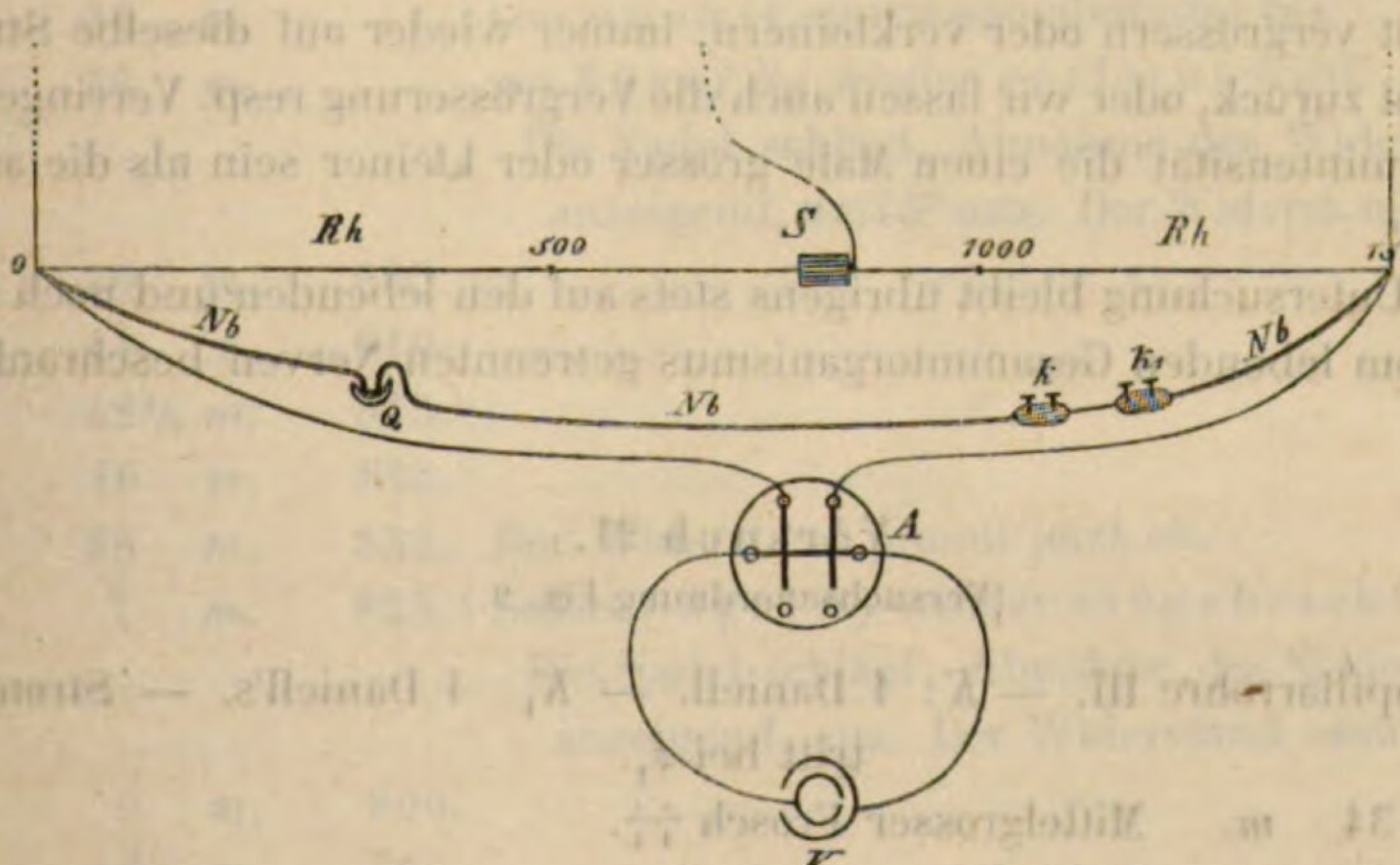


Fig. 10.

Zweigen besteht. Die Nebenschliessung *Nb* ist aus einem c. 1500^{mm} langen Stücke Telegraphendraht hergestellt, das an zwei Stellen durchschnitten ist: an der einen Schnittstelle sind die beiden Drahtenden hakenförmig gekrümmt und amalgamirt und tauchen in das Quecksilbernäpfchen *Q*; an der anderen Schnittstelle sind die Drahtenden mit den Doppelklemmen *k*

und k_1 verbunden, zwischen welche feiner Neusilberdraht von $0{,}3^{mm}$ Durchmesser eingebracht ist. Durch die Veränderung der Länge des Neusilberdrahtes lässt sich der Widerstand von *Nb* beliebig verkleinern und vergrössern, so dass die Intensität des den Nerven durchfliessenden Stromes mehr oder weniger geschwächt wird: es kann aber auch diese schwächende Wirkung von *Nb* durch das Herausheben des einen Hakens aus *Q* — durch Oeffnung von *Nb* — ganz beseitigt werden.

In beiden Versuchsreihen ist alsdann das allgemeine Schema der Versuche das, dass wir auf die Nervenstrecke eine Zeit lang einen Strom gewisser Intensität einwirken lassen, dann die Stromintensität vergrössern oder verkleinern, darauf nach einiger Zeit zur anfänglichen Stromintensität zurückkehren, weiter nach einiger Zeit die Stromintensität wieder vergrössern oder verkleinern, sodann nochmals die anfängliche Stromintensität herbeiführen u. s. f.; und zwar lassen wir die Nervenstrecke in der Regel jedesmal nur so lange vom Strome der betreffenden Intensität durchflossen sein, bis wir die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke genügend constatirt haben, um auf Grund unserer bisher erworbenen Kenntnisse für den Fall, dass die Stromintensität von uns nicht verändert würde, ihren weiteren Verlauf bestimmen zu können. Der wiederholte Wechsel der Stromintensitäten dient dazu, den Einfluss der voraufgegangenen Durchströmung zu eliminiren; und wir greifen entweder, so oft wir die Stromintensität vergrössern oder verkleinern, immer wieder auf dieselbe Stromintensität zurück, oder wir lassen auch die Vergrösserung resp. Verringerung der Stromintensität die einen Male grösser oder kleiner sein als die anderen Male.

Die Untersuchung bleibt übrigens stets auf den lebenden und noch nicht lange vom lebenden Gesammtorganismus getrennten Nerven beschränkt.

Versuch 21.

(Versuchsanordnung Fig. 9.)

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 4 Daniell's. — Stromeintritt bei z_1.

8*h*. 34 *m*. Mittelgrosser Frosch ††.

39 *m*. Ischiadicus aufgelegt.

45 *m*. *K* geschlossen. — Bügel *Bg* ist in Q_1 und Q_2 versenkt. — Schieber steht auf 750.

Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 46⁰ aus. Der Widerstand nimmt zu.

46 *m*. 600.

48 *m*. 610.

8 *h.*	51½ *m.*	620.	
	55 *m.*	630.	
	58 *m.*	640.	— Empfindlichkeit: der Verschiebung von *S* um 10^{mm} entspricht const. Ablenk. d. Nadel v. c. 4^0.
9 *h.*	1 *m.*	650.	
	4 *m.*	660.	Sofort Bügel *Bg* aus Q_1 und Q_2 entfernt. Die Nadel schlägt, Zunahme des Widerstandes anzeigend, aus. Der Widerstand nimmt zu.
	5 *m.*	675.	
	6 *m.*	692.	
	8 *m.*	724.	
	9 *m.*	745.	— Empfindlichkeit: der Verschiebung von *S* um 10^{mm} entspricht const. Ablenk. d. Nadel von c. 8^0.
	10¼ *m.*	765.	
	11½ *m.*	785.	
	13 *m.*	805.	Sofort Bügel *Bg* wieder eingebracht. Die Nadel schlägt, Abnahme des Widerstandes anzeigend, um 8^0 aus. Der Widerstand nimmt sehr langsam zu.
	15 *m.*	800.	
	25 *m.*	805.	So erhält sich der Widerstand unverändert bis
	30 *m.*		von wo an er spurweise abnimmt bis
	39 *m.*		wo Bügel *Bg* wieder entfernt wird. Die Nadel schlägt, Abnahme des Widerstandes anzeigend, um 15^0 aus. Der Widerst. nimmt zu.
	40 *m.*	805.	
	41 *m.*	810.	
	42½ *m.*	815.	
	46 *m.*	825.	
	55 *m.*	832.	Der Widerstand nimmt jetzt ab.
10 *h.*	7 *m.*	825.	Sofort Bügel *Bg* winder eingebracht. Die Nadel schlägt, Abnahme des Widerstandes anzeigend, aus. Der Widerstand nimmt ab.
	9 *m.*	800.	
	12½ *m.*	790.	
	17 *m.*	780.	
	27 *m.*	760.	
	38 *m.*	740.	
	49 *m.*	720.	
11 *h.*	2 *m.*	700.	
	17 *m.*	680.	

11 *h.* 37 *m.* 660. Sofort Bügel *Bg* wieder entfernt.
Die Nadel schlägt, Abnahme des Widerstandes anzeigend, um 2° aus. Der Widerst. nimmt zu.
38 *m.* 667.
49 *m.* 675. Der Widerstand nimmt jetzt spurweise ab bis
54 *m.* wo Bügel *Bg* wieder eingebracht wird.
Die Nadel schlägt, Abnahme des Widerstandes anzeigend, aus. Der Widerstand nimmt ab.
55 *m.* 660.
57 *m.* 650.
12 *h.* 3 *m.* 640.
10 *m.* 632. Sofort *K* geöffnet.
Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um 15° aus.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 5^{mm}$; $am = 18^{mm}$; $bo = 8^{mm}$; $bw = 41^{mm}$. — 9 *h.* 39 *m.* zuckte der Muskel noch. Nach Beendigung des Versuches ist der Nerv nur noch unterhalb *a* mechanisch erregbar.

Versuch 22.

(Versuchsanordnung Fig. 9.)

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 1—4 Grove's. — Stromeintritt bei z_1.

9 *h.* 51 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ††.
55 *m.* Ischiadicus aufgelegt.
10 *h.* 1 *m.* *K* geschlossen. Bügel *Bg* ist in Q_1 und Q_2 versenkt.
K_1: 1 Grove. — Schieber auf 750.
Der Spiegel schlägt, kleineren Widerstand anzeigend, weit aus.
20″. 555. Der Widerstand nimmt zu.
2 *m.* 557.
3 *m.* 562. Empfindlichkeit: auf 10^{mm} Verstellung von *S* c. 2^{sc} const. Spiegel-Ablenk.
4 *m.* 566.
5 *m.* 569.
6 *m.* 572. — Sofort Bügel *Bg* aus Q_1 und Q_2 entfernt.
Der Widerstand nimmt ab.
10″. 570. Jetzt nimmt der Widerstand zu.
7 *m.* 574.
8 *m.* 579. Empfindlichkeit: auf 10^{mm} Verstellung von *S* c. $4,5^{sc}$ const. Spiegel-Ablenk.

10 *h*.	9 *m*.	585.	
	10 *m*.	589.	
	11 *m*.	593.	— Sofort Bügel *Bg* wieder eingebracht. Der Widerstand bleibt unverändert bis
	12 *m*.		und nimmt dann zu.
	13 *m*.	595.	
	15 *m*.	598.	
	16 *m*.	601.	— Jetzt werd. 4 Grove's als K_1 aufgenommen.
	17 *m*.	606.	
	19 *m*.	612.	
	21 *m*.	616.	— Sofort Bügel *Bg* entfernt. Der Widerstand nimmt ab.
	25″.	594.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	22 *m*.	600.	
	23 *m*.	609.	Empfindlichkeit: auf 10mm Verstellung von Sc. 8—9 sc. const. Spiegel-Ablenk.
	24 *m*.	617.	
	25 *m*.	624.	
	26 *m*.	630.	— Sofort Bügel *Bg* wieder eingebracht. Der Widerstand nimmt zu.
	c. 10″	632.	Jetzt nimmt der Widerstand ab.
	27 *m*.	625.	
	28 *m*.	623.	
	29 *m*.	622.	
	31 *m*.	621.	— Sofort Bügel *Bg* entfernt. Der Widerstand nimmt ab.
	7″.	610.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	32 *m*.	626.	
	33 *m*.	637.	
	34 *m*.	644.	
	35 *m*.	650.	
	36 *m*.	654.	— Sofort Bügel *Bg* wieder eingebracht. Der Widerstand nimmt zu.
	c. 7″.	656.	Jetzt nimmt der Widerstand ab.
	37 *m*.	639.	
	39 *m*.	624.	
	41 *m*.	618.	Jetzt werden 3 Grove's ausgeschaltet, so dass K_1 = 1 Grove bleibt.
	43 *m*.	616.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	47 *m*.	626.	
	49 *m*.	629.	

10 *h*. 51 *m*. 630. Sofort **Bügel** *Bg* **entfernt**.
Der Widerstand nimmt ab.
7″. 627. Jetzt nimmt der Widerstand zu.
52 *m*. 633.
53 *m*. 635,5.
54 *m*. 638.
56 *m*. 643. Sofort **Bügel** *Bg* wieder **eingebracht**.
Der Widerstand nimmt zu.
c. 10″. 644. Der Widerstand nimmt jetzt ab.
57 *m*. 640.
58 *m*. 637.
59 *m*. 634,5.
11 *h*. 1 *m*. 631. — Sofort *K* geöffnet. — Polarisationsablenk. 1^{sc}.
Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 8^{mm}$; $am = 11^{mm}$; $bo = 8^{mm}$; $bw = 42^{mm}$. — Nach Beendigung des Versuches ist der Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Versuch 23.

(Versuchsanordnung Fig. 10.)

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 4 Daniell's. — Stromeintritt bei z_1.
9 *h*. 31 *m*. Grosse Rana esc. ††.
36 *m*. Ischiadicus aufgelegt.
41 *m*. *K* geschlossen. *Nb* **ist geöffnet**. Schieber auf 750.
Der Spiegel schlägt, grösseren Widerst. anzeigend, aus.
20″. 870. Der Widerstand nimmt zu.
42 *m*. 882.
43 *m*. 903.
44 *m*. 923. Sofort *Nb* **geschlossen. Es sind** 480^{mm} **Neusilberdr. zwischen** k **u.** k_1 **eingeschaltet**.
Der Widerstand nimmt sehr rasch ab.
20″. 830. Der Widerstand nimmt jetzt zu.
45 *m*. 840.
46 *m*. 852.
48 *m*. 875.
49 *m*. 883. Sofort *Nb* geöffnet.
Der Widerstand bleibt die ersten 15″ unverändert und nimmt dann zu.
50 *m*. 898.
51 *m*. 922.
53 *m*. 961.

9 *h.*	54 *m.*		979.	Sofort *Nb*, wie vorhin, geschlossen. Der Widerstand nimmt rasch ab.
		15″.	965.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	55 *m.*		968.	
	56 *m.*		974.	
	58 *m.*		987.	— Empfindlichkeit: auf 10^{mm} Verschiebung c. $3\frac{1}{2}^{sc}$ const. Ablenkung.
10 *h.*	0 *m.*		999.	
	2 *m.*		1013.	
	3 *m.*		1020.	Sofort *Nb* geöffnet. Der Widerstand nimmt rasch zu.
		20″.	1030.	
	4 *m.*		1037.	
	5 *m.*		1046.	
	6 *m.*		1053.	
	8 *m.*		1065.	— Empfindlichkeit: auf 10^{mm} Verschiebung 5^{sc} const. Ablenkung.
	10 *m.*		1072.	
	11 *m.*		1076.	Sofort *Nb*, wie vorhin, geschlossen. Der Widerstand nimmt ab.
		20″.	1061.	Jetzt bleibt der Widerstand unverändert bis
	12 *m.*			und nimmt dann zu.
	13 *m.*		1063.	
	14 *m.*		1066.	
	15 *m.*		1070.	
	17 *m.*		1077.	
	19 *m.*		1083.	Sofort *Nb* geöffnet. Der Widerstand nimmt rasch zu.
		20″.	1100.	
	20 *m.*		1105.	
	21 *m.*		1108.	
	22 *m.*		1112.	
	24 *m.*		1117.	Sofort *Nb*, wie vorhin, geschlossen. Der Widerstand nimmt ab.
		15″.	1100.	
	26 *m.*		1099.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	27 *m.*		1100.	
	30 *m.*		1105.	Sofort *Nb* geöffnet. Der Widerstand nimmt rasch zu.
		15″.	1122.	
	31 *m.*		1127.	

10 *h*.	33 *m*.		1133.	
	37 *m*.		1138.	Sofort *Nb* geschlossen. Es sind jetzt 110^{mm} Neusilberdraht zwischen *k* und k_1 eingeschaltet. Der Widerstand nimmt sehr rasch ab.
		20″.	1070.	
	38 *m*.		1055.	
	39 *m*.		1048.	
	40 *m*.		1043.	— Empfindlichkeit: auf 10^{mm} Verschiebung 2^{sc} const. Ablenkung.
	41 *m*.		1040.	
	42 *m*.		1037.	Sofort *Nb* geöffnet. Der Widerstand nimmt rasch zu.
		15″.	1105.	
	43 *m*.		1125.	
	44 *m*.		1131.	
	45 *m*.		1135.	
	46 *m*.		1138.	Sofort *Nb* geschlossen. Es sind wieder 480^{mm} Neusilberdraht zwischen *k* und k_1 eingeschaltet. Der Widerstand nimmt ab.
		15″.	1116.	
	47 *m*.		1114.	So hält sich der Widerstand unverändert bis
	48 *m*.			und nimmt dann zu.
	49 *m*.		1115.	
	50 *m*.		1116.	Sofort *Nb* geöffnet. Der Widerstand nimmt rasch zu.
		20″.	1140.	
	51 *m*.		1147.	
	53 *m*.		1149.	
	55 *m*.		1151.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *z*. Der Widerstand nimmt rasch ab.
		15″.	865.	
	56 *m*.		800.	
	57 *m*.		780.	
		40″.	778.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	59 *m*.		785.	
11 *h*.	1 *m*.		795.	
	2 *m*.		801.	Sofort *Nb* geschlossen. Es sind 110^{mm} Neusilberdr. zwischen *k* u. k_1 eingeschaltet.

				Der Widerstand nimmt ab.
11 *h*.	2 *m*.	20″.	767.	Der Widerstand nimmt jetzt zu.
	3 *m*.		770.	
	5 *m*.		778.	
	7 *m*.		787.	
	9 *m*.		794.	Sofort *Nb* geöffnet. Der Widerstand nimmt rasch zu.
		10″.	828.	
	10 *m*.		836.	
	12 *m*.		858.	
	14 *m*.		875.	
	16 *m*.		893.	
	17 *m*.		902.	Sofort *Nb* geschlossen. Es sind jetzt 480^{mm} Neusilberdraht zwischen k und k_1 eingeschaltet. Der Widerstand nimmt ab.
		15″.	891.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	18 *m*.		896.	
	19 *m*.		903.	
	20 *m*.		910.	
	22 *m*.		922.	
	24 *m*.		932.	Sofort *Nb* geöffnet. Der Widerstand nimmt zu.
		10″.	940.	So hält sich der Widerstand unverändert bis
	25 *m*.			und nimmt dann zu.
	26 *m*.		942,5.	
	28 *m*.		953.	
	30 *m*.		662.	Sofort *K* geöffnet. Der Spiegel nimmt, Strom von z_1 nach z anzeigend, constante Ablenkung von 3^{sc} an.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 6^{mm}$; $am = 15^{mm}$; $bo = 10^{mm}$; $bw = 42^{mm}$. — Nach Beendigung des Versuches ist der Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch erregbar.

Versuch 24.

(Versuchsanordnung Fig. 10.)

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 4 Daniell's. — Stromeintritt bei z_1.

12 *h*. 11 *m*. Mittelgrosse Rana esc. ††.

16 *m*. Ischiadicus aufgelegt.

12 *h*. 21 *m*.			*K* geschlossen. — *Nb* ist geschlossen. — Es sind 110^{mm} Neusilberdraht zwischen *k* u. k_1 eingeschaltet. — Schieber auf 750. Der Spiegel schlägt, kleineren Widerst. anzeigend, aus.
	15″.	680.	Der Widerstand nimmt zu.
22 *m*.		688.	
23 *m*.		696.	
25 *m*.		710.	
26 *m*.		717.	Sofort *Nb* geöffnet, Der Widerstand nimmt zu.
	10″.	732.	
27 *m*.		747.	
28 *m*.		764.	
30 *m*.		807.	
31 *m*.		829.	Sofort *Nb* geschlossen. Es sind jetzt 480^{mm} Neusilberdraht zwischen *k* und k_1 eingeschaltet. Der Widerstand nimmt sehr langsam zu.
	20″.	830.	
32 *m*.		841.	
33 *m*.		856.	
34 *m*.		874.	
35 *m*.		892.	
36 *m*.		908.	Sofort *Nb* geöffnet. Der Widerstand bleibt c. 7″ unverändert und nimmt dann zu.
37 *m*.		926.	
38 *m*.		950.	
39 *m*.		972.	
40 *m*.		991.	
41 *m*.		1010.	Sofort *Nb* geschlossen. Es sind 110^{mm} Neusilberdraht zwischen *k* und k_1 eingeschaltet. Der Widerstand bleibt c. 5″ unverändert und nimmt dann ab.
42 *m*.		995.	
43 *m*.		992.	So hält sich der Widerstand unverändert bis
44 *m*.			und nimmt dann zu.
45 *m*.		993.	
46 *m*.		997.	Sofort *Nb* geöffnet. Der Widerstand nimmt rasch zu.

12 *h.* 46 *m.* 20″.		1012.	
47 *m.*		1028.	
49 *m.*		1063.	
51 *m.*		1085.	Sofort *Nb* geschlossen. Es sind 480^{mm} Neusilberdraht zwischen *k* und k_1 eingeschaltet. Der Widerstand nimmt ab.
	15″.	1081.	So erhält sich der Widerstand unverändert bis
	c. 30″.		und nimmt dann zu.
52 *m.*		1084.	
53 *m.*		1090.	
55 *m.*		1103.	
57 *m.*		1113.	Sofort *Nb* geöffnet. Der Widerstand bleibt einige Secunden unverändert und nimmt dann zu.
58 *m.*		1119.	
59 *m.*		1126.	
1 *h.* 1 *m.*		1139.	
3 *m.*		1147.	— Sofort *K* geöffnet. Der Spiegel nimmt, Strom von *z* nach z_1 anzeigend, constante Ablenkung von $2,5^{sc}$ an.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 7^{mm}$; $am = 11^{mm}$; $bo = 10^{mm}$; $bw = 41^{mm}$. — Nach Beendigung des Versuches ist der Nerv nur noch unterhalb *o* mechanisch erregbar.

Die vorstehenden Beispiele geben von den hierhergehörigen Versuchen, wenn man von einigen wenigen, später zu besprechenden Versuchen absieht, im Wesentlichen ein gutes Bild, und es springt als constantes und übereinstimmendes Ergebniss beider Versuchsreihen sofort in die Augen, dass die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes desto steiler verläuft, je grösser die Stromintensität ist[1].

1) Es liegt nahe, dies Ergebniss in anderer Fassung dahin auszusprechen, dass die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke mit der Stromintensität wachse, d. h. der Widerstand der Nervenstrecke in der gleichen Zeit desto mehr zunehme, je grösser die Stromintensität sei. So unverfänglich aber auch diese Version von vornherein scheint, so stellt doch in der neuen Fassung das Ergebniss in manchen Fällen als unrichtig sich heraus (vgl. Vers. 22., 10 *h.* 16 *m.* — 10 *h.* 21 *m.* und 10 *h.* 21 *m.* — 10 *h.* 26 *m.*) durch die in diesen Fällen der Zunahme des Widerstandes vorhergehende Abnahme desselben (s. die Folge im Text). — Dass die innere Polarisation der Nervenstrecke und die Erwärmung des Vergleichswiderstandes hier keine Täuschung veranlasst haben können, ergiebt sich aus so vielen Gründen von selbst, dass ein Eingehen darauf überflüssig wäre.

Mit diesem Ergebnisse wollen wir an die genauere Durchmusterung unserer Versuche gehen. Offenbar ist, wenn wir die Intensität des anfänglich den Nerven durchfliessenden Stromes vergrössern und nach einiger Zeit zur anfänglichen Stromintensität wieder zurückkehren, für die nach der Vergrösserung und Verringerung der Stromintensität zur Beobachtung kommenden Widerstandsveränderungen die Auffassung berechtigt, dass sie die algebraische Summe sind derjenigen Widerstandsveränderungen, welche bei der Fortdauer der anfänglichen Stromintensität stattgehabt hätten, und anderer, welche die Folge gewesen wären der Schliessung resp. Oeffnung eines Stromes von solcher Intensität, wie sie durch die Differenz der anfänglichen und der späteren Stromintensität gegeben ist. Sehen wir nun zu, ob unsere Versuchsergebnisse dieser Auffassung entsprechen unter der Voraussetzung, dass die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke, wie sie vom Kap. II. her uns bekannt sind, nur in der Weise von der Stromintensität beeinflusst sind, dass die Widerstandszunahme der Nervenstrecke bei der Durchströmung — und demgemäss natürlich auch die Widerstandsabnahme nach der Durchströmung — desto steiler verläuft, je grösser die Stromintensität ist.

Was zunächst den Fall der Verstärkung der Stromintensität betrifft, so finden wir die Beobachtungen in vielen Fällen allerdings mit dem, was zu erwarten stand, übereinstimmend. Häufig aber ergeben sie doch die Abweichung, dass der Widerstand der Nervenstrecke, statt mit der Verstärkung der Stromintensität eine Beschleunigung in seinem Wachsen zu erfahren, unmittelbar nach der Verstärkung constant bleibt oder gar abnimmt und dann mit rasch zunehmender und später abnehmender Geschwindigkeit wächst. Die Constanz des Widerstandes besteht immer nur wenige Secunden, die Dauer der Abnahme hingegen schwankt zwischen wenigen Secunden und etwa einer halben Minute. Auch die Grösse der Abnahme ist sehr verschieden: oft ist sie sehr gering, manchmal aber ist sie so gross, dass trotz der der Abnahme nachfolgenden raschen Zunahme der Widerstand der Nervenstrecke mehrere Minuten hindurch kleiner ist, als er zur Zeit der Verstärkung der Stromintensität war. Wo in Reihen von Versuchen eine kleine Stromintensität mehr und mehr verstärkt worden ist, tritt, sobald die Verstärkung eine gewisse mittlere Stromintensität herbeigeführt hat, zuerst die Constanz und bald darauf die Abnahme des Widerstandes auf; und im Allgemeinen wächst alsdann die Grösse der Abnahme stetig mit der Intensität, zu welcher der Strom verstärkt worden ist, die Dauer der Abnahme hingegen wächst mit dieser Intensität nur bis zu einem Maximum und nimmt von dem Maximum aus wieder ab. Ebenso aber, wie bei der Verstärkung einer kleinen anfänglichen Stromintensität zu verhältnissmässig immer noch kleinen Stromintensitäten, werden auch bei

unbedeutender Verstärkung grösserer anfänglicher Stromintensitäten Abnahme und Constanz ganz vermisst, und dies sind eben die vielen Fälle, in welchen bei der Verstärkung der Stromintensität die Versuchsergebnisse der Voraussicht entsprechend gefunden werden.

Im anderen Falle der Verringerung der Stromintensität ist die Uebereinstimmung zwischen Voraussicht und Beobachtung noch etwas vollkommener. Doch auch hier findet man, wenngleich eben seltener, eine Abweichung und zwar die, dass auf die Verringerung der Stromintensität unmittelbar eine kurze und unbedeutende Zunahme des Widerstandes folgt und erst danach der Widerstand abnimmt. Am ausgesprochensten findet sich die Zunahme gerade da, wo umgekehrt bei der Verstärkung der Stromintensität die grösste Abnahme des Widerstandes sich gezeigt hat; und wo hier die Abnahme des Widerstandes kleiner oder nur eine Constanz des Widerstandes wahrzunehmen war, ist nach der Verringerung der Stromintensität die Zunahme des Widerstandes undeutlicher oder wird gar schon ganz vermisst.

Nach diesen Erfahrungen kann zunächst kein Zweifel sein, dass wir in der Abnahme des Widerstandes unmittelbar nach der Verstärkung und in der Zunahme des Widerstandes unmittelbar nach der Verringerung der Stromintensität complementäre Abweichungen vor uns haben. Es wird daher nur nöthig sein, dass wir der einen der beiden Abweichungen — wir nehmen die Abnahme — weiter nachgehen, und mit ihrem Verständniss wird zugleich auch das der anderen Abweichung gewonnen sein.

Alsdann geht aus unseren Erfahrungen hervor, dass die Voraussetzung, mit welcher wir vorhin an die Musterung unserer Versuche gegangen sind, nicht richtig ist. Schon unsere Kenntniss der die intrapolare Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes betreffenden Widerstandsveränderungen, wie wir sie im Kap. II. gewonnen und hier als Grundlage genommen haben, erweist sich als nicht umfassend genug. Denn die Abnahme und die Constanz des Widerstandes, welche wir eben aufgefunden haben, lassen keine andere Deutung zu, als dass, sobald die Intensität des die Nervenstrecke durchfliessenden Stromes eine gewisse niedere Grösse überschreitet, der beschleunigten Widerstandszunahme der Nervenstrecke nach der Schliessung der Kette noch eine kurze Widerstandsabnahme vorhergeht. Und wenn wir so die Grundlage der uns beschäftigenden Untersuchung erweitert haben, thuen unsere Erfahrungen ferner die Abhängigkeit der anfänglichen Widerstandsabnahme der Nervenstrecke von der Stromintensität uns kund: ihre Grösse wächst stetig mit der Stromintensität, ihre Dauer aber nimmt mit der Stromintensität zuerst bis zu einem Maximum zu und dann von dem Maximum wieder ab. Fügen wir dieses Ergebniss zu unse-

rem früheren Ergebnisse, dass die Widerstandszunahme der Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes desto steiler verläuft, je grösser die Stromintensität ist, noch hinzu, so ist die Abhängigkeit der Widerstandsveränderungen, welche die intrapolare Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes erfährt, von der Stromintensität nach den vorliegenden Versuchen vollständig gegeben.

Wir haben aber noch jene wenigen Versuche zu betrachten, welche bisher absichtlich vernachlässigt worden sind (s. o. S. 127.). Die Versuche zeichnen sich dadurch aus, dass in ihnen die Widerstandszunahme nach der beträchtlicheren Verstärkung der kleinen anfänglichen Stromintensität durchaus nicht steiler oder sogar weniger steil verläuft als vorher oder nachher nach der geringeren Verstärkung derselben. Stets geht dabei der weniger steilen Widerstandszunahme eine Widerstandsabnahme von längerer Dauer vorauf als der steileren Widerstandszunahme, und in einzelnen Fällen hält die weniger steile Widerstandszunahme gar nicht einmal lange an, sondern macht sehr schnell einer neuen Abnahme des Widerstandes Platz (vgl. Vers. 25. und 26. S. 131 ff.). Danach ist jenes erste und so in die Augen springende Ergebniss unserer Versuche offenbar doch nicht allgemeingültig; und die Widerstandszunahme der Nervenstrecke bei den mittleren Stromintensitäten, bei welchen die Widerstandsabnahme unmittelbar nach der Schliessung der Kette von der längsten Dauer ist, scheint es zu sein, welche die Ausnahme von der Regel macht.

Da aus den spärlichen hier einschlagenden Versuchen, welche die Untersuchung so weit geliefert hat, ein Mehreres über die Ausnahme sich nicht entnehmen und noch weniger der etwaige Uebergang der Regel in die Ausnahme und der Ausnahme wiederum in die Regel sich feststellen lässt, muss es jetzt unser nächstes Bestreben sein, experimentell der Ausnahme weiter nachzugehen. Leider aber sehen wir uns hierzu mit Hülfe unseres gegenwärtigen Versuchsverfahrens ganz ausser Stande. Denn um von mehreren Gründen den wesentlichsten aufzuführen, so würde, weil die grössere Stromintensität, welche wir zu irgend einer Zeit in den Versuchen herbeiführen, nicht blos von der Veränderung, welche wir eben für den Zweck treffen, sondern auch noch von anderen und nicht in unserer Macht stehenden Verhältnissen, deren Erörterung unlohnend wäre und unter welchen daher nur die anfängliche Beschaffenheit der Nervenstrecke hervorgehoben werden mag, abhängig ist, sowohl der Gewinn der betreffenden Versuche doch dem Zufalle überlassen bleiben müssen als auch die Kritik der gewonnenen Versuche mit der hier erforderlichen Genauigkeit nicht möglich sein. Es bleibt daher nichts Anderes übrig, als dass wir, die Ausnahme zu verfolgen, jetzt doch noch dem zweiten der beiden möglichen Versuchsverfahren (s. o. S. 116.) uns zuwenden.

Damit wird denn auch sehr gut noch ein anderer Zweck zu verbinden sein. Man könnte uns nämlich die Beziehung zwar der anfänglichen Widerstandsabnahme der Nervenstrecke zur Stromintensität, wie wir sie im Vorstehenden aufgedeckt haben, zugeben, dagegen diese Widerstandsabnahme überhaupt für eine Folge der voraufgegangenen Durchströmung erklären wollen, so dass nur an einer bereits vorher durchströmten Nervenstrecke bei den betreffenden Stromintensitäten die Abnahme des Widerstandes unmittelbar nach der Schliessung der Kette auftreten sollte. Diesen Einwand zu entkräften, würde uns hier nur mit Hülfe schwieriger und ausgedehnter Erörterungen gelingen, und selbst dann würde der unmittelbare Nachweis der anfänglichen Widerstandsabnahme an vorher noch nicht durchströmten Nervenstrecken immer noch wünschenswerth sein. Wir ersparen uns daher viele unfruchtbare Mühe, wenn wir sogleich, um letzteren Nachweis zu führen, das zweite Versuchsverfahren in's Werk setzen und bei ihm dafür Sorge tragen, dass wir rascher als bisher nach der Schliessung der Kette die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke ermitteln können. Denn dass die anfängliche Abnahme des Widerstandes bisher unserer Beobachtung sich entzogen hat, ist einfach dadurch zu erklären, dass die unrichtige Anfangsstellung des Schiebers im Verein mit den trägen Schwingungen des Nadelpaares in den mit Hülfe des Multiplicators angestellten Versuchen resp. im Verein mit der schwachen Dämpfung des schweren Spiegels in den verhältnissmässig wenigen Versuchen, bei welchen wir bisher die Bussole benutzt haben, in der Regel in den ersteren Versuchen kaum früher als eine Minute, in den letzteren Versuchen kaum früher als 30 Secunden nach der Schliessung der Kette eine genaue Bestimmung des Widerstandes zugelassen hat.

Versuch 25.

(Versuchsanordnung Fig. 9.)

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Grove. — K_1: 9—4 Grove's. — Stromeintritt bei z_1.

10 *h*. 20 *m*. Mittelgrosse Rana esc. †‡.
24 *m*. Ischiadicus aufgelegt.
30 *m*. *K* geschlossen. — Bügel *Bg* ist in Q_1 u. Q_2 versenkt. — K_1: 9 Grove's. Schieber auf 700.
Der Spiegel schlägt, kleineren Widerstand anzeigend, weit aus.
15″. 618. Der Widerstand nimmt zu.
31 *m*. 622.
32 *m*. 627.
33 *m*. 634.

10 *h.*	34 *m.*		639.	
	35 *m.*		642.	— Sofort *Bg* aus Q_1 und Q_2 entfernt. Der Widerstand nimmt ab.
		15″.	619.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	36 *m.*		630.	
	37 *m.*		637.	
	38 *m.*		651.	
	39 *m.*		666.	
	40 *m.*		682.	— Sofort *Bg* wieder eingebracht. Der Widerstand nimmt zu.
		15″.	695.	Der Widerstand nimmt ab.
		45″.	685.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	41 *m.*		689.	
	42 *m.*		698.	
	43 *m.*		704.	
	44 *m.*		709.	Jetzt werden 5 Grove's aus K_1 ausgeschaltet, so dass $K_1 = 4$ Grove's.
	46 *m.*		717.	
	47 *m.*		726.	
	48 *m.*		733.	
	49 *m.*		739.	Sofort *Bg* aus Q_1 und Q_2 entfernt. Der Widerstand nimmt ab.
		7″.	730.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
		30″.	760.	
	50 *m.*		787.	
	51 *m.*		822.	
	52 *m.*		848.	
	53 *m.*		876.	
	54 *m.*		902.	— Sofort *Bg* wieder eingebracht. Der Widerstand nimmt ab.
		10″.	889.	
		30″.	877.	
	55 *m.*		867.	
	56 *m.*		863.	
	57 *m.*		861,5.	Der Widerstand nimmt zu.
	58 *m.*		866.	— Die ausgeschalteten 5 Grove's wieder hinzugefügt, so dass $K_1 = 9$ Grove's.
	59 *m.*		869.	
11 *h.*	0 *m.*		871.	
	1 *m.*		875.	
	2 *m.*		878.	

11 *h*. 3 *m*. 883.
4 *m*. 887. — Sofort *Bg* aus Q_1 und Q_2 entfernt. Der Widerstand nimmt ab.
10″. 875 (ohngefähr). Der Widerstand nimmt zu.
5 *m*. 943.
6 *m*. 974.
7 *m*. 997.
8 *m*. 1017. — Sofort *Bg* wieder eingebracht. Der Widerstand nimmt ab.
9 *m*. 955.
10 *m*. 940. So hält sich der Widerstand bis
11 *m*. und nimmt dann zu.
12 *m*. 943.
13 *m*. 948. *K* geöffnet. Polarisationsablenkung: c. 2^{sc}.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 7^{mm}$; $am = 16^{mm}$; $bo = 5^{mm}$; $bw = 36^{mm}$. — Nach Beendigung des Versuches ist der Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Versuch 26.

(Versuchsanordnung Fig. 9.)

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 1—4 Grove's. — Stromeintritt bei z_1.

11 *h*. 34 *m*. Grosse Rana esc. ††.
39 *m*. Ischiadicus auf die Zuleitungsröhren gelegt.
44 *m*. *K* geschlossen. Bügel *Bg* ist in Q_1 und Q_2 versenkt. — K_1: 1 Grove. Schieber auf 650.
Der Spiegel schlägt, kleineren Widerst. anzeigend, aus.
20″. 491. Der Widerstand nimmt zu.
45 *m*. 501.
46 *m*. 510. Empfindlichkeit: etwas grösser als entsprechend im Vers. 22.
47 *m*. 519,5.
48 *m*. 528.
49 *m*. 534. — Sofort Bügel *Bg* aus Q_1 und Q_2 entfernt. Der Widerstand nimmt zu. (Ob er zuerst abgenommen hat, ist nicht beobachtet.)
50 *m*. 547.
51 *m*. 559.
52 *m*. 571.

11 *h*.	53 *m*.		582.	
	54 *m*.		593.	— Sofort Bügel *Bg* wieder eingebracht. Der Widerstand nimmt zu.
		c. 15″.	597.	Jetzt nimmt der Widerstand ab.
	55 *m*.		594.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	56 *m*.		598.	
	58 *m*.		605.	Jetzt werden 4 Grove's als K_1 aufgenommen.
12 *h*.	0 *m*.		610.	
	2 *m*.		614.	Sofort Bügel *Bg* entfernt. Der Widerstand nimmt ab, so dass
		c. 20″.	588.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	3 *m*.		593.	Jetzt nimmt der Widerstand wieder ab.
	4 *m*.		591.	
	5 *m*.		586.	
	6 *m*.		580.	
	7 *m*.		574.	
	8 *m*.		573.	— Sofort Bügel *Bg* wieder eingebracht. Der Widerstand nimmt zu, so dass
		c. 7″.	575	und dann ab.
	9 *m*.		558.	So bleibt der Widerstand noch einige Secunden unverändert und nimmt dann zu.
	10 *m*.		560.	
	11 *m*.		563.	
	13 *m*.		569.	Jetzt werden 3 Grove's ausgeschaltet, so dass $K_1 = 1$ Grove.
	15 *m*.		577.	
	16 *m*.		580.	
	18 *m*.		585.	— Sofort Bügel *Bg* entfernt. Der Widerstand nimmt ab, so dass
		c. 10″.	581,	und dann zu.
	19 *m*.		589,5.	
	20 *m*.		596.	
	21 *m*.		600,5.	
	22 *m*.		603,5.	
	23 *m*.		606.	— Sofort Bügel *Bg* wieder eingebracht. Der Widerstand nimmt rasch zu, so dass
		c. 7″.	509,	und dann ab.
	24 *m*.		602,5.	
	25 *m*.		602.	So bleibt Widerstand unverändert bis gegen
	26 *m*.			und nimmt dann zu.
	27 *m*.		605.	

12*h*. 28 *m*.	608.	Jetzt werden wieder 4 Grove's als K_1 aufgenommen.
29 *m*.	610.	
31 *m*.	613.	
33 *m*.	616.	Sofort Bügel *Bg* entfernt. Der Widerstand nimmt rasch ab, so dass
c. 7″.	580,	und dann zu.
34 *m*.	605.	
35 *m*.	611.	
36 *m*.	612.	
37 *m*.	613.	Jetzt nimmt der Widerstand ab.
38 *m*.	612.	
93 *m*.	609.	
40 *m*.	607.	Sofort Bügel *Bg* wieder eingebracht. Der Widerstand nimmt zu, so dass
c. 10″.	620,	und dann ab.
41 *m*.	605.	
42 *m*.	602.	
43 *m*.	600,5.	So bleibt Widerstand unverändert bis gegen
44 *m*.		und nimmt dann zu.
45 *m*.	601.	
46 *m*.	602.	— Sofort *K* geöffnet. — Polarisationsablenkung: c. 1^{sc}.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 6^{mm}$; $am = 10^{mm}$; $bo = 11^{mm}$; $bw = 47^{mm}$. — Nach Beendigung des Versuches ist der Nerv nur noch zwischen *a* und *m* mechanisch erregbar.

Da nach unseren weiteren Erfahrungen (s. u. § 4.) es mit Recht auffallen könnte, dass unter den so zahlreichen und so mannigfach verschiedenen Versuchen des Kap. II. nicht ein einziges Mal eine anfängliche Abnahme des Widerstandes uns aufgestossen sein sollte, wollen wir übrigens nicht unterlassen sogleich anzumerken, dass dort in der That mehrere Versuche der Art vorgekommen sind, und dass nur äussere Gründe uns bestimmt haben, sie bisher unerwähnt zu lassen. Durch die frühere Anführung dieser Versuche hätten wir die Erörterungen des vorigen Kapitels nur unnütz sehr ausgedehnt und verwickelt gemacht, da doch jetzt nach der Darlegung des Kap. II. das Verständniss der anfänglichen Widerstandsabnahme ohne jede Schwierigkeit ist: denken wir uns das Anfangsstück der Curve $\dot{O}\gamma C$ der Fig. 5. etwas steiler abfallend oder die Curve $\dot{O}A$ im

Ganzen weniger steil ansteigend, so resultirt daraus, dass das Anfangsstück der Curve $\dot{O}V$ resp. $\dot{O}sW$ derselben Figur unter die Abscisse sinkt.

(b. Zweites Versuchsverfahren.)

Wir wollen also jetzt auf eine ganze Anzahl von Nerven unter sonst gleichen Umständen Ströme verschiedener Intensität einwirken lassen und die Widerstandsveränderungen der von den verschieden starken Strömen durchflossenen Nervenstrecken vergleichen.

Für dieses Vorhaben sind uns, nur mit einigen leicht zu überwindenden Schwierigkeiten, durch die in (*a*) getroffenen Veränderungen der Versuchsanordnung Fig. 1. bereits die Mittel gegeben, die Stromintensität regelmässig zu variiren. Doch haben wir bisher versäumt, nach der oberen Grenze uns umzusehen, welche der Stromintensität in unseren Versuchen gesetzt war, und da dieselbe Grenze auch ferner bestehen bleiben soll, wollen wir das Versäumte rasch nachholen. Ist bei der Versuchsanordnung Fig. 1. oder 9. E die elektromotorische Kraft eines unserer *Grove*'schen Elemente und w_k der Widerstand desselben, gegen welchen der sonst noch in der ungespaltenen Strecke des Stromnetzes befindliche Widerstand verschwindet; ist ferner w_r der Widerstand unseres Platinrheostaten und w_{nb} der Widerstand unseres Nervenzweiges — also der intrapolaren Nervenstrecke und des Vergleichswiderstandes —: so ist bei einem in der ungespaltenen Strecke befindlichen Elemente die Intensität des die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes

$$i = \frac{Ew_r}{w_r w_{nb} + w_k (w_r + w_{nb})};$$

und da w_r, das nach directen Bestimmungen = c. 2,5 *Siemens*'schen Einheiten (noch nicht = 0,05 Meilen T.-D.) ist, verschwindet gegen w_{nb} und nach dem Durchschnitt der Versuche $w_{nb} = 2w_n$ sich setzen lässt, wenn w_n der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke ist, so ist weiter

$$i = \frac{Ew_r}{2w_n (w_r + w_k)}.$$

Vermehren wir nun die Zahl der Elemente in der ungespaltenen Strecke, indem wir sie hintereinander zur Säule verbinden, so wird mit ihrer Zahl i wachsen, bis bei n Elementen w_r verschwinden wird gegen nw_k, und es wird dann das überhaupt zu erlangende Maximum der Stromintensität

$$i_{max.} = \frac{Ew_r}{2w_n w_k}$$

sein. Natürlich ist aber, da $w_k : w_r$ etwa = 1 : 4 sich verhält[1], an die

[1]) Nach wiederholten directen Bestimmungen schwankte der Widerstand eines einzelnen unserer *Grove*'schen Elemente zwischen 0,4 u. 0,8 *Siemens*'schen Einheiten.

Erlangung dieses $i_{max.}$ (das etwa $= \frac{2E}{w_n}$ sein würde) bei uns nicht zu denken; und da wir wegen der Verlängerung und Krümmung des Rheostatendrahtes, welche mit der beträchtlicheren Erwärmung desselben durch den Strom verknüpft ist und durch welche die Genauigkeit der Widerstandsmessungen sehr beeinträchtigt wird, in den Versuchen des Kap. III. höchstens 6 Elemente und oben in (*a*) ausnahmsweise höchstens 10 Elemente zur Säule verbunden angewandt haben, berechnet sich die von uns erlangte grösste Stromintensität i_1 auf etwa

$$i_1 = \frac{5Ew_r}{w_n\,(w_r + 10w_k)} = \frac{5Ew_r}{w_n\left(w_r + \frac{5w_r}{2}\right)} = \frac{10E}{7w_n}.$$

Unsere Versuche reichen also, wie wir sehen, lange noch nicht einmal an die Stromintensität heran, welche bei directer Einschaltung der Nervenstrecke in den Schliessungskreis einer nur zweigliedrigen *Grove*'schen Säule bestanden hätte, und es versteht sich von selbst, dass auch alle unsere bisherigen Ergebnisse nur bis zu der von uns erlangten grössten Stromintensität auf Richtigkeit Anspruch machen können. Mit einer so sehr beschränkten Kenntniss des Einflusses der Stromintensität auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke dürfen wir uns indessen keinesfalls zufrieden geben, und indem wir eben ein neues Versuchsverfahren zur Constatirung jenes Einflusses einzuschlagen vorhaben, müssen wir zugleich darauf bedacht sein, die obere Grenze unserer Untersuchung weiter hinauszuschieben. Die Vertauschung unseres Platinrheostaten mit einem anderen Rheostaten von grösserem Widerstande und die Verkleinerung unseres Vergleichswiderstandes würden mit mehrfachen Unzuträglichkeiten verknüpft sein und dabei doch nur wenig nützen: wesentlich erweitern lassen sich die Grenzen unserer Untersuchung nur, wenn wir die *Wheatstone*'sche Methode der Widerstandsbestimmung, welche wir bisher ausschliesslich in Anwendung gezogen haben, zeitweilig aufgeben und durch die Messung der Stromintensität in dem die Nervenstrecke enthaltenden Schliessungskreise den Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke nachgehen.

Wir greifen zu diesem Auskunftsmittel und treffen die Versuchsanordnung, welche Fig. 11. zeigt. Dieselbe ist ohne weitere Erörterung verständlich, sobald wir *R* als den achtsaitigen *Pflüger*'schen Neusilberrheochord[1] erklären, da alle übrigen Theile den früheren Versuchsanordnungen Fig. 1. und Fig. 9. mit Beibehaltung der dortigen Bezeichnungen entlehnt sind. Der *du Bois*'sche Schlüssel, durch welchen das Galvanometer

1) *E. Pflüger*, Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus. Berlin 1859. S. 122 ff.

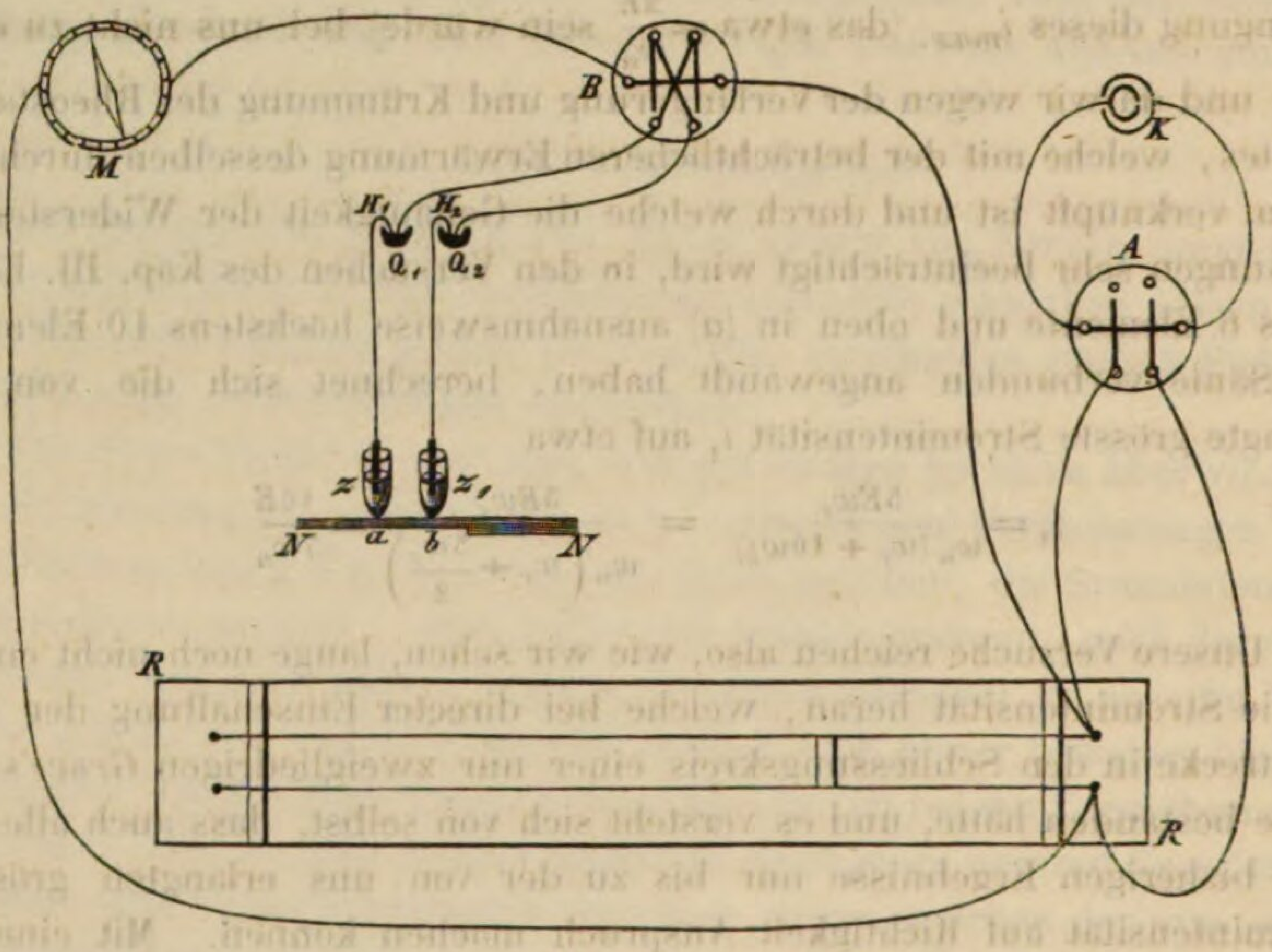


Fig. 11.

M mit der übrigen Versuchsanordnung in Verbindung steht, ist, wie in der Fig. 1, so auch in der Fig. 11. fortgelassen [s. o. Kap. I. § 2 (4)].

Als Galvanometer benutzen wir hier stets unsere Bussole; und zwar ist in dieselbe ein sehr dünner Stahlspiegel eingehängt, dessen Schwingungen durch die Kupferhülse so stark gedämpft werden, dass schon c. 5 Secunden nach der Schliessung der Kette die Ablesung der constanten Ablenkung des Spiegels möglich ist. Von den Drahtwindungen der Bussole sind in der Regel hinter einander 8000, deren Widerstand nach besonderen Bestimmungen c. 40 Meilen T.-D. beträgt, in den Stromkreis eingeschaltet.

Wir sind nunmehr im Stande, einmal mit Hülfe des Rheochordes in einer Reihe von Versuchen die Intensität des beim Beginne des einzelnen Versuches die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes zu variiren, und weiter mit Hülfe der Bussole in jedem einzelnen Versuche die Veränderungen der Stromintensität im Nervenkreise während der Durchströmung der Nervenstrecke zu verfolgen. Mit den letzteren Veränderungen sind uns aber zugleich auch die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke während ihrer Durchströmung gegeben: denn da der Widerstand der Säule *K* ebenso wie der ganze ausser der Nervenstrecke im Nervenkreise befindliche Widerstand gegen den mehrere Tausende Meilen T.-D. betragenden Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke[1] nicht in Betracht kommt, ist

1) Der Widerstand von 1mm Nerv lässt sich im Mittel auf 500 Meilen T.-D. veranschlagen.

der Widerstand der Nervenstrecke der Stromintensität im Nervenkreise umgekehrt proportional. Es liegt sonach nur noch die Aufgabe vor, alle die oben S. 114. aufgeführten Umstände, welche die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke möglicher Weise beeinflussen, mit Ausnahme der Stromintensität in der ganzen Versuchsreihe constant zu erhalten.

Diese Aufgabe lösen wir, indem wir die Untersuchung wiederum auf den lebenden und noch nicht lange vom lebenden Gesammtorganismus getrennten Nerven einschränken, in folgender Weise. Aus vielen Fröschen desselben Fanges, welche seit dem Fange unter denselben äusseren Verhältnissen sich befunden haben, suchen wir eine Anzahl gleich grosser, munterer Frösche aus und führen an ihnen unsere Versuche rasch hintereinander durch. Für die ganze Versuchsreihe verwenden wir dieselben, unverrückbar an ihrem Träger befestigten und hinsichts der Gestalt ihrer Thonspitzen unverändert erhaltenen Zuleitungsröhren: vom Tode des Thieres bis zum Beginne der Durchströmung lassen wir in allen Versuchen die gleiche Zeit verfliessen. Endlich, um ganz sicher zu gehen und auch etwaige Veränderungen der Nerven und der Zuleitungsröhren während der Dauer der Versuchsreihe unschädlich zu machen, fangen wir die Versuchsreihe mit einer mittleren Stromintensität an, vergrössern in den folgenden Versuchen die Stromintensität bis zu einem Maximum, verringern alsdann allmählich die Stromintensität bis zu einem Minimum und kehren schliesslich unter Vergrösserung der Stromintensität zu der mittleren Stromintensität, von welcher wir ausgegangen sind, wieder zurück.

Dass die Richtung des Stromes im Nerven in allen Versuchen dieselbe sein muss, brauchte eben nicht besonders erwähnt zu werden, da ja die ganze Versuchsanordnung bis auf die Länge des eingeschalteten Rheochorddrahtes während der Versuchsreihe unverändert zu erhalten ist. Indem aber vielleicht gerade der stete Uebergang des Stromes von derselben Zuleitungsröhre zum Nerven als Fehlerquelle verdächtigt werden könnte, ist darauf aufmerksam zu machen, dass durch den zuletzt angeführten Gang der Untersuchung auch diese Fehlerquelle unschädlich gemacht sein muss. Zudem stellt sich gar bald das Bedürfniss heraus, vor Beendigung der Versuche den Strom noch in umgekehrter Richtung den Nerven durchfliessen zu lassen. Vollends aber lässt die in Rede stehende etwaige Fehlerquelle sich beseitigen, wenn man, unter Benutzung beider Schenkel der ausgewählten Frösche nach einander, zugleich zwei Versuchsreihen, die eine an ganz frischen und die andere an etwas länger vom lebenden Gesammtorganismus getrennten Nerven, anstellt und die Richtung des Stromes im Nerven bei der einen Versuchsreihe die umgekehrte sein lässt wie bei der anderen.

Es versteht sich von selbst, dass wir, wie schon bei unseren bisherigen

Versuchen, so erst recht auch bei unseren neuen Versuchen für die Constanz der Säule K, soweit nur möglich, Sorge tragen. Doch lassen wir bei unserer Vorsorge es hier noch nicht bewenden. In die Quecksilbernäpfchen Q_1 und Q_2 sieht man neben den Verbindungsdrähten zur Wippe B in der Fig. 11. noch die verquickten Kupferhaken H_1 und H_2 tauchen, welche mit den Zuleitungsröhren z und z_1 in Verbindung stehen: und dies ist natürlich während des Versuches stets der Fall. Vor und nach jedem Versuche aber entfernen wir die Haken H_1 und H_2 und versenken an ihrer Stelle in Q_1 und Q_2 zwei andere verquickte Kupferhaken, welche mit den Zinkplatten unseres flüssigen Vergleichswiderstandes Wd [s. o. Kap. II. § 2 (7); Fig. 1.] verbunden sind. Indem wir alsdann beide Male die Stromintensität im Bussolenkreise bestimmen, wenn so statt der Zuleitungsröhren und der Nervenstrecke unser Vergleichswiderstand eingeschaltet ist, lernen wir die Veränderungen kennen, welche die Stromintensität im Bussolenkreise während der Dauer des Versuches aus anderen Gründen als durch die Widerstandsveränderungen der (Zuleitungsröhren und der) Nervenstrecke — vornehmlich also in Folge der Inconstanz der Säule — erfahren hat, und können sie von den im Versuche beobachteten Veränderungen der Stromintensität in Abzug bringen[1].

Die Einschaltung von Wd an Stelle des Nerven zwischen den einzelnen Versuchen dient übrigens noch dem anderen Zwecke, für die geeignete Variirung der Stromintensität in der Versuchsreihe die nöthigen Bestimmungen uns zu liefern, für welche die in den Versuchen am Nerven selbst zuerst beobachteten Spiegelablenkungen, wie später einleuchten wird, wegen der häufig sehr raschen und sehr grossen Veränderungen, welche der Widerstand der Nervenstrecke nach der Schliessung der Kette erfährt, nicht verwendbar sind. Wir setzen nämlich die Stromintensität i im Bussolenkreise bei eingeschaltetem Wd, wenn der Rheochord R ausgeschaltet ist und so der volle Strom der 4 Daniell's oder Grove's, welche wir als K für unsere Versuchsreihe verwenden, den Bussolenkreis durchfliesst, $= 1$ und schalten für die Versuche am Nerven solche Längen des Rheochorddrahtes ein, dass, wenn Wd an Stelle der Nervenstrecke aufgenommen ist, in den Versuchen i von 0,5 etwa auf 0,625 auf 0,75 u. s. w. wächst und

1) Um später unsere Darlegung nicht unterbrechen zu müssen, wollen wir hier sogleich bemerken, dass, wenn die anfängliche Widerstandsabnahme der intrapolaren Nervenstrecke von jedem Verdachte einer Täuschung frei bleiben soll, die anfängliche Widerstandsabnahme der (neu zusammengesetzten) Säule, in Folge welcher die Stromintensität im Schliessungskreise der Säule zunimmt, zur Zeit des betreffenden Versuches am Nerven schon vorübergegangen sein muss. Solche Versuche aber, in welchen die Stromintensität im Nervenkreise von vornherein abnimmt, sind natürlich, wenn sie — wie der Vers. 27. — noch in die Zeit der anfänglichen Widerstandsabnahme der Säule fallen, a fortiori beweisend.

wiederum von 0,5 etwa auf 0,375 auf 0,25 u. s. w. abnimmt. Da nun der Widerstand von *Wd* dem Widerstande einer 6^{mm} langen Nervenstrecke, wie sie das Object unserer Versuche ist, etwa gleichkommt, muss alsdann die Intensität des beim Beginne des Versuches die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes ohngefähr in gleicher Weise in der Versuchsreihe variirt sein.

Es ist eben bemerkt worden, dass wir 4 Daniell's oder Grove's als *K* verwenden, und dies ist in den meisten Versuchsreihen allerdings der Fall, weil gerade diejenigen Stromintensitäten, welche wir so der Prüfung unterziehen können, sowohl hinsichts des uns zur Zeit beschäftigenden Gegenstandes wie auch für die Folge vom grössten Interesse für uns sind. Indessen ist es doch wünschenswerth, auch noch grössere Stromintensitäten auf ihren Einfluss auf die Widerstandsveränderungen zu untersuchen, und wir stellen deshalb noch einige Versuchsreihen unter Entfernung des Rheochordes *R* aus dem Schliessungskreise so an, dass wir in den verschiedenen Versuchen derselben Reihe die Zahl der Glieder von *K* zwischen 1 und 10 Grove's schwanken lassen.

Von den hierhergehörigen Versuchsreihen lassen wir nun drei als Beispiele folgen, deren einzelne Versuche hier so angeordnet sind, dass die Intensität des die Nervenstrecke durchfliessenden Stromes von Versuch zu Versuch wächst. In jedem Versuche giebt die Zahl zur Linken die laufende Zeit, von der Schliessung der Kette an gerechnet, und die Zahl zur Rechten die Ablenkung des Spiegels zu der betreffenden Zeit in Scalentheilen an. Wo die Folge der Zahlen durch [*W*] unterbrochen wird, ist unmittelbar nach der letzten Ablesung durch Umlegen der Wippe *B* die Stromrichtung in der Nervenstrecke umgekehrt worden. Vor und nach jedem Versuche ist unter [*Wd* = . . .] die Ablenkung des Spiegels bei Einschaltung unseres flüssigen Vergleichswiderstandes an Stelle der Nervenstrecke angemerkt. Endlich ist noch nach jedem Versuche unter [*V* = . . .] die Grösse in Scalentheilen angegeben, um welche während der Dauer des Versuches der Nullpunkt an der Bussole nach der einen oder der anderen Seite hin sich verschoben hat[1], und zwar ist die Zahl positiv genommen,

1) Wenn wir auch vorhin haben sagen dürfen, dass der Widerstand der Drahtwindungen der Bussole gegen den Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke nicht in Betracht kommt, so empfiehlt es sich doch zum Zwecke grösster Sicherheit, hier während des einzelnen Versuches die Bussole nie in sich zu schliessen. Dadurch wird die Verschiebung des Nullpunktes bei diesen Versuchen zu den Tageszeiten, zu welchen sie mit der grössten Geschwindigkeit erfolgt, sehr unangenehm, und unter Umständen kann man alsdann ganze Versuche zu verwerfen genöthigt sein. Im Uebrigen liegen die Täuschungen, welche die Unstetigkeit des Nullpunktes bedingen kann, so auf der Hand, dass ein weiteres Eingehen auf dieselben nicht zu rechtfertigen wäre. — Bei allen nach der *Wheatstone*'schen Methode angestellten Versuchen wurde, beiläufig bemerkt, während des Versuches der Veränderung des Nullpunktes nachgegangen, so dass die Zahlen keiner Correction bedürfen.

wenn die Verschiebung eine Zunahme —, negativ, wenn sie eine Abnahme der Stromintensität hatte vortäuschen müssen.

Was man noch vermissen könnte, ist eine Angabe hinsichts der letzten Fehlerquelle der Versuche, der inneren Polarisation der Nervenstrecke. Indessen wäre es bei den folgenden Versuchen, in welchen ein ein- oder mehrfacher Wechsel der Stromrichtung im Nerven stattgehabt hat, werthlos gewesen, die Ablenkung des Spiegels durch den Polarisationsstrom nach der Oeffnung der Kette aufzuführen[1]. Dafür merken wir hier an, dass in zahlreichen, den Vers. 27—48. ganz gleichen Versuchen, in welchen aber die Stromrichtung im Nerven nicht umgekehrt worden ist, die Ablenkung des Spiegels durch den Polarisationsstrom nach der früheren oder späteren Oeffnung der Kette nie über 1^{sc} betragen hat und meist sogar viel kleiner gewesen ist. Es wird also, selbst wenn wir von den Erfolgen der Umkehrung der Stromrichtung in den folgenden Versuchen ganz absehen, von einem irgend wesentlichen Einflusse der inneren Polarisation auf die Ergebnisse unserer Untersuchung nimmermehr die Rede sein können.

Erste Versuchsreihe.

(Vers. 27—34.)

Die Versuchsreihe ist Anfangs August an wenige Tage vorher eingefangenen Fröschen angestellt: die Temperatur in der feuchten Kammer schwankte während derselben zwischen $15\frac{2}{3}^0$ und $16\frac{2}{3}^0$ R. Bei allen Versuchen war 4 *m.* nach dem Tode des Frosches der Ischiadicus, dessen Verbindung mit dem Muskel unversehrt erhalten war, auf die Zuleitungsröhren gelegt, und 14 *m.* nach dem Tode des Frosches wurde die Kette geschlossen. Für alle Versuche ist gültig: $ab = 6^{mm}$; $am = 13^{mm}$; $bo = 7^{mm}$; $bw = 40^{mm}$.

$K = 4$ Daniell's. — Die eingeschaltete Rheochordlänge ist bei jedem Versuche unter $[R = \ldots]$ angegeben. — Ueber die Bedeutung von i s. S. 140.

Vers. 27. $R = 32^{mm}$. $i = 0{,}062$. $\overline{Wd} = 39{,}2$.	Vers. 28. $R = 144^{mm}$. $i = 0{,}25$. $\overline{Wd} = 92{,}7$.	Vers. 29. $R = 275^{mm}$. $i = 0{,}375$. $\overline{Wd} = 82{,}4$.	Vers. 30. $R = 580^{mm}$. $i = 0{,}5$. $\overline{Wd} = 78{,}5$.
5″. 53,6. I nimmt	7″. 118,5. I un-	5″. 123,0. I nimmt	5″. 113,0. I nimmt
30″. 53,0. [ab.	[verändert bis	[zu.	15″. 115,5. [zu.
1 *m.* 52,5.	30″. und nimmt	10″. 125,0. I nimmt	30″. 116,3. I nimmt
2 *m.* 30″. 51,0.	[dann ab.	30″. 124,0. [ab.	45″. 116,0. [ab.
4 *m.* 50,4.	1 *m.* 117,0.	1 *m.* 120,0.	1 *m.* 115,0.

1) Für die möglichst genaue Bestimmung der Polarisationsablenkung muss man auf das Schleunigste nach der Oeffnung des primären Stromes die beiden eben frei gewordenen Quecksilbernäpfchen der Wippe *A* durch einen metallischen Bügel verbinden.

Vers. 27. $R = 32^{mm}$. $i = 0{,}062$. $Wd = 39{,}2$.	Vers. 28. $R = 144^{mm}$. $i = 0{,}25$. $Wd = 92{,}7$.	Vers. 29. $R = 275^{mm}$. $i = 0{,}375$. $Wd = 82{,}4$.	Vers. 30. $R = 580^{mm}$. $i = 0{,}5$. $Wd = 78{,}5$.
6 m. 49,1.	2 m. 114,5.	2 m. 109,5.	2 m. 109,8.
8 m. 47,9.	3 m. 111,7.	3 m. 97,6.	3 m. 101,4.
10 m. 46,6.	4 m. 108,4.	4 m. 86,5.	4 m. 93,3.
12 m. 45,5.	6 m. 101,3.	5 m. 77,3.	5 m. 85,4.
15 m. 43,7.	8 m. 94,0.	7 m. 65,0.	7 m. 72,2.
W.	10 m. 86,8.	9 m. 58,0.	9 m. 62,6.
10″. 45,3. I nimmt	12 m. 80,0.	11 m. 53,8.	11 m. 54,3.
16 m. 45,0. [ab.	14 m. 73,8.	13 m. 50,0.	12 m. 51,0.
17 m. 44,9.	15 m. 71,3.	15 m. 46,6.	14 m. 45,8.
19 m. 44,7.	W.	W.	15 m. 43,6.
20 m. 44,6.	10″. 77,0. I nimmt	7″. 108,0. I nimmt	W.
W.	30″. 82,0. [zu.	15″. 125,0. [zu.	7″. 81,0. I nimmt
7″. 44,3. I nimmt	16 m. 86,2.	30″. 134,0.	15″. 98,0. [zu.
20″. 44,0. [ab.	17 m. 91,9.	16 m. 138,8.	30″. 107,0.
21 m. 43,5.	19 m. 98,3.	15″. 139,2. I nimmt	45″. 110,2.
22 m. 43,0.	20 m. 101,0.	30″. 138,7. [ab.	16 m. 111,5.
23 m. 42,7.	W.	17 m. 137,0.	10″. 111,7. I nimmt
$V = -1{,}0$.	7″. 98,7. I nimmt	18 m. 131,0.	30″. 111,1. [ab.
$Wd = 43{,}8$.	[zu.	19 m. 124,0.	17 m. 109,6.
	12″. 99,2. I nimmt	20 m. 116,3.	18 m. 105,0.
	30″. 95,0. [ab.	W.	19 m. 100,0.
	21 m. 92,0.	10″. 138,0.	20 m. 95,0.
	22 m. 87,0.	20″. 138,6. I nimmt	W.
	23 m. 82,7.	30″. 137,0. [ab.	10″. 117,0.
	$V = -1{,}4$.	21 m. 131,0.	20″. 118,0. So bleibt
	$Wd = 94{,}4$.	22 m. 111,0.	[I bis
		23 m. 97,0.	25″. und nimmt
		$V = -0{,}9$.	[dann ab.
		$Wd = 81{,}8$.	45″. 112,4.
			21 m. 106,0.
			22 m. 89,0.
			23 m. 80,3.
			$V = -0{,}7$.
			$Wd = 78{,}0$.

Vers. 31. $R = 2650^{mm}$. $i = 0{,}75$. $Wd = 76{,}9$.	Vers. 32. $R = 5200^{mm}$. $i = 0{,}875$. $Wd = 78{,}5$.	Vers. 33. $R = 7000^{mm}$. $i = 0{,}90$. $Wd = 81{,}5$.	Vers. 34. $R = 13000^{mm}$. $i = 0{,}95$. $Wd = 83{,}3$.
5″. 83,0. I nimmt	5″. 112,0. I nimmt	5″. 103,5. I nimmt	7″. 235,0. I nimmt
20″. 87,0. [zu	15″. 120,0. [zu.	[zu.	15″. 229,0. [ab.
40″. 89,7.	30″. 126,0.	30″. 105,5. I nimmt	30″. 219,0.
1 m. 91,6.	45″. 129,0.	45″. 105,0. [ab.	45″. 209,0.
2 m. 93,3.	1 m. 131,3.	1 m. 103,4.	1 m. 199,0.
3 m. 94,0. I unver-	2 m. 137,0.	30″. 95,0.	30″. 177,0.
[ändert bis	3 m. 139,0.	2 m. 86,0.	2 m. 156,0.
4 m. u. nimmt dann ab.	4 m. 140,0. I nimmt	3 m. 80,0.	3 m. 128,5.
5 m. 93,1. I nimmt	30″. 139,2. [ab.	4 m. 76,7. [zu.	4 m. 116,0.
7 m. 94,0 [zu.	5 m. 138,3.	5 m. 73,4. I nimmt	5 m. 103,0.

Vers. 31.
$R = 2650^{mm}$.
$i = 0,75$.

$Wd = 76,9$.

9 *m.*	94,6.	
11 *m.*	94,9.	So I unverändert bis
12 *m.*		u. nimmt dann ab.
13 *m.*	94,2.	
14 *m.*	94,1.	
	W.	
7″.	126,0.	I nimmt zu.
15″.	132,0.	
30″.	136,0.	
15 *m.*	139,0.	
30″.	140,5.	I unverändert bis
16 *m.*		u. nimmt dann ab.
30″.	140,0.	
17 *m.*	138,2.	
18 *m.*	134,0.	
19 *m.*	129,4.	
20 *m.*	125,2.	
21 *m.*	121,6.	
22 *m.*	119,0.	

$V = + 0,2$.
$Wd = 76,8$.

Vers. 32.
$R = 5200^{mm}$.
$i = 0,875$.

$Wd = 78,5$.

6 *m.*	137,0.	
7 *m.*	136,3.	
9 *m.*	135,0.	
11 *m.*	133,4.	
13 *m.*	131,6.	
15 *m.*	129,2.	
	W.	
10″.	161,0.	I nimmt zu.
20″.	171,0.	
30″.	177,0.	
16 *m.*	183,7.	
30″.	185,0.	I nimmt ab.
17 *m.*	183,8.	
18 *m.*	180,0.	
19 *m.*	176,0.	
21 *m.*	171,2.	
22 *m.*	169,4.	
	W.	
10″.	220,0.	I nimmt zu.
20″.	227.0.	So I unverändert bis
23 *m.*		u. nimmt dann ab.
30″.	219,0.	
24 *m.*	211,0.	
25 *m.*	197,0.	

$V = - 0,6$.
$Wd = 79,2$.

Vers. 33.
$R = 7000^{mm}$.
$i = 0,90$.

$Wd = 81,5$.

7 *m.*	75,0.	
9 *m.*	77,0.	
11 *m.*	79,2.	
12 *m.*	79,4.	I nimmt ab
13 *m.*	79,3.	
15 *m.*	79,0.	
	W.	
7″.	118,0.	I nimmt zu.
30″.	139,0.	
16 *m.*	147,4.	
20″.	148,9.	I nimmt ab.
17 *m.*	147,0.	
18 *m.*	144,0.	
19 *m.*	143,7.	
20 *m.*	143,4.	
	W.	
10″.	193,0.	I nimmt zu.
20″.	196,0.	I nimmt ab.
30″.	195,0.	
21 *m.*	186,0.	
22 *m.*	155,0.	
23 *m.*	137,0.	
24 *m.*	117,0.	

$V = + 0,8$.
$Wd = 81,0$.

Vers. 34.
$R = 13000^{mm}$.
$i = 0,95$.

$Wd = 83,3$.

7 *m.*	86,4.	
9 *m.*	81,2.	
11 *m.*	78,7.	
13 *m.*	77,4.	
14 *m.*	77,0.	I nimmt zu.
15 *m.*	77,2.	
	W.	
7″.	147,0.	I nimmt zu.
15″.	188,0.	
30″.	208,0.	
45″.	214,0.	
16 *m.*	215,2.	I nimmt ab.
30″.	211,0.	
17 *m.*	202,0.	
18 *m.*	185,0.	
19 *m.*	174,0.	
20 *m.*	165,0.	
	W.	
7″.	242,0.	I nimmt zu.
15″.	253,0.	
25″.	256,0.	I nimmt ab.
45″.	253,0.	
21 *m.*	243,0.	
22 *m.*	194,0.	
23 *m.*	166,0.	

$V = \pm 0$.
$Wd = 83,2$.

Zweite Versuchsreihe.

(Vers. 35—42.)

Zu dieser Versuchsreihe sind die zweiten Schenkel der zur vorhergehenden Versuchsreihe ausgewählten Frösche verwandt worden. Etwa 45 *m.* nach dem Tode des Frosches wurde der Ischiadicus des zweiten Schenkels präparirt, und er blieb sodann 10 *m.* lang undurchströmt auf den Zuleitungsröhren liegen. Etwa eine Stunde nach dem Tode des Frosches wurde die Kette geschlossen.

Die Versuche dieser und der vorhergehenden Reihe sind alternirend angestellt, und alle bei der letzteren gemachten allgemeinen Angaben haben auch für diese Versuchsreihe Gültigkeit.

Vers. 35.
$R = 70^{mm}$.
$i = 0,125$.
$Wd = 95,5$.

5″. 82,0. I nimmt [ab.
15″. 81,3.
30″. 80,5.
1 *m*. 78,2.
2 *m*. 76,0.
3 *m*. 73,9.
4 *m*. 71,9.
5 *m*. 69,9.
7 *m*. 66,7.
9 *m*. 63,8.
11 *m*. 61,0.
13 *m*. 58,6.
15 *m*. 56,1.
W.
7″. 61,0. I nimmt [zu.
30″. 62,0.
16 *m*. 63,0.
17 *m*. 65,2.
18 *m*. 68,2.
19 *m*. 71,2.
20 *m*. 73,0.
W.
10″. 72,8. I nimmt [ab.
21 *m*. 70,0.
22 *m*. 67,2.
23 *m*. 65,2.

$V = -1,0$.
$Wd = 95,3$.

Vers. 36.
$R = 130^{mm}$.
$i = 0,2$.
$Wd = 54,5$.

5″. 41,0. I nimmt [ab.
15″. 37,2.
30″. 36,7.
1 *m*. 35,8.
2 *m*. 34,3.
3 *m*. 33,0.
4 *m*. 31,6.
6 *m*. 28,4.
8 *m*. 25,9.
10 *m*. 24,2.
13 *m*. 21,0.
15 *m*. 18,5.
W.
10″. 21,0. I nimmt [zu.
30″. 22,3
16 *m*. 24,2.
17 *m*. 26,8.
18 *m*. 28,4.
19 *m*. 29,6.
20 *m*. 30,0.
W.
7″. 30,0. I nimmt [ab.
30″. 29,4.
21 *m*. 28,3.
22 *m*. 26,3.
23 *m*. 24,3.

$V = \pm 0$.
$Wd = 52,0$.

Vers. 37.
$R = 275^{mm}$.
$i = 0,375$.
$Wd = 80,8$.

5″. 45,0. So bleibt [I unverändert bis 15″. und nimmt [dann ab.
30″. 43,9.
1 *m*. 41,3.
2 *m*. 36,2.
3 *m*. 32,3.
4 *m*. 29,1.
5 *m*. 26,1.
7 *m*. 21,7.
9 *m*. 18,8.
11 *m*. 16,8.
13 *m*. 15,0.
15 *m*. 14,0.
W.
7″. 39,0.
15″. 50,0.
30″. 57,0.
45″. 59,0.
16 *m*. 59,3. Jetzt [nimmt I ab.
17 *m*. 55,0.
18 *m*. 47,8.
19 *m*. 42,0.
20 *m*. 37,3.
W.
7″. 51,0. I nimmt [zu.
20″. 57,0. I nimmt [ab.
40″. 55,5.
21 *m*. 52,0.
22 *m*. 41,0.
23 *m*. 32,6.

$V = -1,0$.
$Wd = 80,4$.

Vers. 38.
$R = 630^{mm}$.
$i = 0,5$.
$Wd = 79,3$.

5″. 80,0. I nimmt [zu.
15″. 81,3.
30″. 82,0. So bleibt [I bis 1 *m*. u. nimmt dann ab.
30″. 80,7.
2 *m*. 79,0.
3 *m*. 76,0.
4 *m*. 73,3.
5 *m*. 71,0.
7 *m*. 66,1.
9 *m*. 61,4.
11 *m*. 58,3.
13 *m*. 55,4.
15 *m*. 54,1.
W.
7″. 104,0. I nimmt [zu.
15″. 115,0.
30″. 120,5. I nimmt [ab.
16 *m*. 118,0.
17 *m*. 108,0.
18 *m*. 100,0.
20 *m*. 90,7.
W.
7″. 153,0. I nimmt [ab.
15″. 152,0.
30″. 146,0.
21 *m*. 130,0.
22 *m*. 116,0.
23 *m*. 93,0.

$V = \pm 0$.
$Wd = 79,0$.

Vers. 39.
$R = 1080^{mm}$.
$i = 0,625$.
$Wd = 77,4$.

5″. 92,0. I nimmt [zu.
20″. 94,8.
40″. 95,4. So bleibt [I bis 1 *m*. u. nimmt dann ab.
30″. 95,0.
2 *m*. 94,7.
3 *m*. 94,6. Jetzt [nimmt I zu.

Vers. 40.
$R = 2650^{mm}$.
$i = 0,75$.
$Wd = 77,0$.

5″. 146,0. I nimmt [zu.
20″. 149,3. I nimmt [ab.
30″. 149,0.
45″. 147,5.
1 *m*. 145,8.
30″. 142,5.
2 *m*. 139,0.
3 *m*. 133,0.

Vers. 41.
$R = 6370^{mm}$.
$i = 0,87$.
$Wd = 77,4$.

5″. 126,0. I nimmt [zu.
15″. 129,5.
30″. 131,3.
1 *m*. 133,7.
30″. 134,8. I nimmt [ab.
2 *m*. 134,6.
3 *m*. 134,0.
4 *m*. 130,0.
5 *m*. 127,0.

Vers. 42.
$R = 13000^{mm}$.
$i = 0,95$.
$Wd = 80,3$.

5″. 103,0. I nimmt [zu.
15″. 106,2.
25″. 107,1. I nimmt [ab.
45″. 104,5.
1 *m*. 101,5.
30″. 94,5.
2 *m*. 88,0.
3 *m*. 80,0.
5 *m*. 69,0.

Vers. 39. $R = 1080^{mm}$. $i = 0,625$. $Wd = 77,4$.		
4 *m.*	97,7.	
5 *m.*	99,7.	
7 *m.*	101,2.	
9 *m.*	104,5.	
11 *m.*	106,4.	
13 *m.*	108,9.	
15 *m.*	109,8.	
	W.	
10″.	137,0.	I nimmt
20″.	142,5.	[zu.
40″.	147,0.	
16 *m.*	149,0.	
30″.	149,8.	I nimmt
17 *m.*	148,0.	[ab.
18 *m.*	141,5.	
19 *m.*	134,5.	
20 *m.*	130,0.	
22 *m.*	126,0.	
24 *m.*	122,7.	
25 *m.*	121,9.	
$V = -0,4$.	$Wd = 76,6$.	

Vers. 40. $R = 2650^{mm}$. $i = 0,75$. $Wd = 77,0$.		
5 *m.*	126,3.	
7 *m.*	124,0.	
8 *m.*	123,7.	So bleibt [I bis
9 *m.*		u. nimmt dann zu.
10 *m.*	124,0.	
12 *m.*	125,3.	
14 *m.*	127,0.	
15 *m.*	127,2.	
	W.	
7″.	170,0.	I nimmt
15″.	186,0.	[zu.
45″.	197,0.	
16 *m.*	198,2.	So bleibt [I bis
15″.		und nimmt [dann ab.
30″.	198,0.	
17 *m.*	196,2.	
18 *m.*	190,6.	
20 *m.*	181,0.	
22 *m.*	173,5.	
23 *m.*	170,6.	
$V = -3,0$.	$Wd = 76,7$.	

Vers. 41. $R = 6370^{mm}$. $i = 0,87$. $Wd = 77,4$.		
7 *m.*	122,0.	
9 *m.*	118,3.	
11 *m.*	116,7.	
13 *m.*	115,2.	
15 *m.*	114,5.	
	W.	
7″.	133,0.	I nimmt
20″.	144,0.	[zu.
40″.	147,0.	
16 *m.*	148,8.	
30″.	149,4.	I nimmt
17 *m.*	149,0.	[ab.
18 *m.*	146,2.	
19 *m.*	143,0.	
20 *m.*	140,8.	
$V = -0,8$.	$Wd = 77,4$.	

Vers. 42. $R = 13000^{mm}$. $i = 0,95$. $Wd = 80,3$.		
7 *m.*	63,2.	
9 *m.*	61,3.	I nimmt
11 *m.*	63,3.	[zu.
13 *m.*	67,3.	
14 *m.*	69,1.	
	W.	
7″.	126,0.	I nimmt
15″.	146,0.	[zu.
30″.	159,0.	
15 *m.*	167,0.	
20″.	167,3.	I nimmt
16 *m.*	164,7.	[ab.
17 *m.*	157,0.	
19 *m.*	146,0.	
	W.	
7″.	196,0.	I nimmt
15″.	209,7.	[zu.
25″.	210,0.	I nimmt
45″.	206,0.	[ab.
20 *m.*	201,0.	
21 *m.*	179,0.	
22 *m.*	154,0.	
23 *m.*	136,0.	
$V = +0,4$.	$Wd = 80,7$.	

Dritte Versuchsreihe.

(Vers. 43—48.)

Die Versuchsreihe ist Anfangs November an wenige Tage vorher eingefangenen Fröschen angestellt: die Temperatur in der feuchten Kammer schwankte während derselben zwischen $12^2/_3$ und $13^1/_4{}^0$ R. Bei allen Versuchen war 4 *m.* nach dem Tode des Frosches der Ischiadicus, dessen Verbindung mit dem Muskel unversehrt erhalten war, auf die Zuleitungsröhren gelegt, und 10 *m.* nach dem Tode des Frosches wurde die Kette geschlossen. Für alle Versuche ist gültig: $ab = 6^{mm}$; $am = 14^{mm}$; $bo = 9^{mm}$; $bw = 40^{mm}$.

Der Rheochord war ausgeschaltet. Die Zahl der *K* bildenden Glieder ist bei jedem Versuche angegeben.

Vers. 43. $K = 1$ Grove. $\overline{Wd} = 73{,}3$.

Zeit		
7″.	186,5.	I nimmt zu.
15″.	187,0.	I nimmt ab.
1 *m.*	184,0.	
2 *m.*	176,5.	
3 *m.*	169,0.	
4 *m.*	162,0.	
6 *m.*	149,5.	
8 *m.*	142,2.	
10 *m.*	135,6.	
W.		
7″.	163,0.	I nimmt zu.
30″.	173,0.	
11 *m.*	177,6.	
30″.	178,4.	I nimmt ab.
12 *m.*	177,9.	
13 *m.*	174,4.	
14 *m.*	169,8.	
15 *m.*	165,0.	

$V = \pm 0$. $Wd = 73{,}0$.

Vers. 44. $K = 3$ Grove's. $\overline{Wd} = 74{,}6$.

Zeit		
7″.	141,0.	I nimmt zu.
20″.	144,0.	I nimmt ab.
40″.	140,5.	
1 *m.*	133,0.	
2 *m.*	112,4.	
4 *m.*	91,0.	
6 *m.*	78,6.	
8 *m.*	71,0.	
10 *m.*	63,8.	
W.		
7″.	144,0.	I nimmt zu.
20″.	174,0.	
40″.	181,0.	I bleibt so bis
50″.	u. nimmt dann ab.	
11 *m.*	180,4.	
12 *m.*	164,0.	
13 *m.*	151,0.	
14 *m.*	135,0.	
15 *m.*	121,0.	

$V = \pm 0$. $Wd = 74{,}4$.

Vers. 45. $K = 4$ Grove's. $\overline{Wd} = 78{,}0$.

Zeit		
7″.	217,0.	I nimmt zu.
15″.	219,0.	I nimmt ab.
30″.	205,0.	
1 *m.*	182,0.	
2 *m.*	137,0.	
4 *m.*	71,0.	
6 *m.*	53,8.	
8 *m.*	43,7.	
9 *m.*	42,0.	I nimmt zu.
20″.	44,0.	I nimmt ab.
10 *m.*	43,0.	
W.		
7″.	72,0.	I nimmt zu.
30″.	127,0.	
11 *m.*	159,0.	
55″.	176,0.	So bleibt I bis
12 *m.* 20″.	u. nimmt dann ab.	
13 *m.*	172,0.	
14 *m.*	154,0.	
15 *m.*	128,0.	

$V = -4{,}0$. $Wd = 77{,}0$.

Vers. 46. $K = 6$ Grove's. $\overline{Wd} = 67{,}3$.

Zeit		
7″.	167,0.	I nimmt ab.
30″.	142,0.	
1 *m.*	104,0.	
2 *m.*	69,0.	
3 *m.*	55,7.	
4 *m.*	46,0.	
6 *m.*	32,0.	
8 *m.*	26,8.	
10 *m.*	22,5.	
W.		
7″.	31,0.	I nimmt zu.
30″.	59,0.	
11 *m.*	90,0.	
12 *m.*	117,0.	
20″.	119,0.	I nimmt ab.
13 *m.*	118,0.	
14 *m.*	101,5.	
15 *m.*	74,0.	

$V = -1{,}7$. $Wd = 66{,}8$.

Vers. 47. $K = 8$ Grove's. $\overline{Wd} = 73{,}6$.

Zeit		
7″.	195,0.	I nimmt ab.
30″.	143,0.	
1 *m.*	92,0.	
2 *m.*	60,0.	
3 *m.*	47,0.	
4 *m.*	40,0.	
6 *m.*	31,3.	
8 *m.*	27,0.	
10 *m.*	22,8.	
W.		
7″.	37,0.	I nimmt zu.
30″.	89,0.	
11 *m.*	130,0.	
50″.	145,2.	I nimmt ab.
13 *m.*	125,0.	
14 *m.*	90,0.	
15 *m.*	70,0.	

$V = \pm 0$. $Wd = 72{,}8$.

Vers. 48. $K = 10$ Grove's. $\overline{Wd} = 76{,}2$.

Zeit		
7″.	260,0.	I nimmt ab.
15″.	226,0.	
30″.	191,0.	
1 *m.*	128,0.	
2 *m.*	81,0.	
3 *m.*	58,0.	
4 *m.*	48,0.	
6 *m.*	35,5.	
8 *m.*	28,2.	
10 *m.*	24,7.	
W.		
7″.	33,0.	I nimmt zu.
30″.	46,0.	
11 *m.*	79,0.	
12 *m.*	126,0.	
13 *m.*	138,3.	I nimmt ab.
14 *m.*	122,0.	
15 *m.*	95,0.	
W.		
7″.	129,0.	I nimmt zu.
30″.	148,0.	So bleibt I bis
40″.	u. nimmt dann ab.	
16 *m.*	138,0.	
17 *m.*	80,0.	

$V = -2{,}0$. $Wd = 75{,}2$.

Die vorliegenden Versuchsreihen, deren einzelne Versuche vor der Hand immer nur bis zum Wechsel der Stromrichtung uns interessiren, liefern zunächst dieselben Ergebnisse, welche wir oben in (*a*) gewonnen haben. Damit ist die Einrede, welche vorher möglich war, die anfängliche Widerstandsabnahme der Nervenstrecke sei, wo sie auftrete, eine Folge der voraufgegangenen Durchströmung, gründlich beseitigt. Zugleich aber ist damit auch der Beweis geliefert, dass es in Wahrheit uns gelungen ist, was kaum zu erwarten stand, alle die Umstände, welche neben der Stromintensität die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke beeinflussen, in unseren Versuchsreihen hier ausreichend constant zu erhalten. Sollte den Ergebnissen unseres zweiten Versuchsverfahrens Vertrauen geschenkt werden dürfen, war dieser Beweis unerlässlich, und indem er sich auf keine andere Weise führen liess, hat schon seinetwegen in diese Darlegung der Untersuchung auch das erste Versuchsverfahren aufgenommen werden müssen, das hinsichts der Ausdehnung sowohl wie der Vollkommenheit seiner Ergebnisse dem zweiten Versuchsverfahren unbedingt nachsteht.

Es erweitern nämlich ferner die vorliegenden Versuchsreihen unsere bisherige Kenntniss von dem Einflusse der Stromintensität auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke wesentlich, indem sie nicht blos eine Uebersicht über grössere Stromintensitäten uns gewinnen lassen, sondern auch die missliche Lücke ausfüllen, welche hinsichts der Ausnahme, auf welche wir gestossen waren, unser erstes Versuchsverfahren gelassen hat. Wir hatten oben S. 130. die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke bei grösseren Stromintensitäten hin und wieder nur ebenso steil oder gar noch weniger steil als bei kleineren Stromintensitäten verlaufen sehen und dies Verhalten der Widerstandszunahme als Ausnahme von der allgemeinen Regel auffassen müssen, ohne dass wir Ausnahme und Regel irgend weiter in Beziehung zu setzen vermochten. Durch die vorliegenden Versuchsreihen ist nun die innigste Beziehung zwischen unserer früheren Ausnahme und unserer früheren Regel hergestellt, und die Abhängigkeit der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke von der Stromintensität ist jetzt folgendermassen auszusprechen:

Mit dem Wachsen der Stromintensität verändert sich der Verlauf der Widerstandszunahme, welche die intrapolare Nervenstrecke nach Kap. II. unter dem Einflusse des Stromes erfährt, in der Weise, dass er zuerst bis zu einem Maximum steiler wird, alsdann bis zu einem Minimum an Steilheit verliert und endlich vom Minimum aus wiederum fortwährend an Steilheit gewinnt: die Differenz der Stromintensitäten, welche das anfängliche Maximum und das spätere Minimum der Steilheit herbeiführen, ist

dabei, wie auch ihre absolute Grösse, verhältnissmässig nur gering. Der Zunahme des Widerstandes geht aber, ausser bei den kleinen Stromintensitäten, überall noch eine verzögerte Abnahme des Widerstandes vorher: dieselbe tritt zuerst auf, noch ehe der Verlauf der Widerstandszunahme anfangs steiler zu werden aufgehört hat, und wächst darauf mit wachsender Stromintensität an Grösse wie an Dauer; aber während ihre Grösse stetig mit der Stromintensität wächst, erreicht ihre Dauer bald ein Maximum — das mit dem Minimum der Steilheit der Widerstandszunahme zusammenfällt — und nimmt mit weiter wachsender Stromintensität ab.

(2.) Von dem Einflusse der Stromintensität auf die stellenweise Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit.

Dies ist so sehr die nackte Zusammenfassung der unmittelbaren Ergebnisse unserer Versuche, dass wir höchstens noch eine Bemerkung über die anfängliche Widerstandsabnahme bei den grossen Stromintensitäten uns vorzubehalten haben und sofort daran gehen können, aus unseren Erfahrungen die Abhängigkeit abzuleiten, in welcher die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit bei der Durchströmung von der Stromintensität sich befindet.

Auf dem Standpunkte, welchen wir oben (S. 127.) nach der ersten Durchsicht der dortigen Versuchsreihen einnahmen, war die Ableitung höchst einfach. Denn aus dem Ergebnisse, dass die Widerstandszunahme der Nervenstrecke desto steiler verläuft, je grösser die Stromintensität ist, war zu entnehmen, dass die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit und daher auch die Verarmung selbst mit der Stromintensität wachsen, und gerade diese Beziehung der Verarmung zur Stromintensität war auch, weil die Verarmung eine Folge der der Stromintensität proportionalen Flüssigkeitsfortführung durch den Strom ist, so bestimmt vorauszusehen gewesen, dass wir schon in den §§ 5. u. 7. des Kap. II. mehrfachen Gebrauch von ihr gemacht hatten. Allerdings konnte noch ein Bedenken entstehen. Da nämlich auch die Erwärmung und die Elektrolyse mit der Stromintensität wachsen, war aus jenem Ergebnisse weiter zu schliessen, dass die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit rascher mit der Stromintensität wächst als die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge ihrer Erwärmung und in Folge ihrer Elektrolyse, — und dieser Schluss hatte etwas Befremdendes, wenn man erwog, dass die Wärmeentwickelung im Nerven mit dem Quadrate der Stromintensität zunimmt, während die Flüssigkeitsfortführung, wie die Elektrolyse, der Stromintensität einfach proportional ist. Allein durch den Fund, dass der Zunahme des Widerstandes von einer gewissen mittleren Stromintensität an

eine Abnahme desselben vorhergeht, musste das Bedenken gar bald wegfallen: daraus ging hervor, dass wirklich, jenem vorauszusehenden verschieden raschen Wachsen der Vorgänge entsprechend, bei den grösseren Stromintensitäten die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit der Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge ihrer Erwärmung und in Folge ihrer Elektrolyse unterliegt; und dass die Niederlage der Verarmung nur während der ersten Zeit der Durchströmung der Nervenstrecke andauert, war leicht dadurch zu erklären, dass die Temperatur der Nervenstrecke nicht lange nach der Schliessung der Kette ein Maximum erreichen muss.

Seitdem ist die Sache aber verwickelter geworden durch unsere Erfahrung, dass jenem ersten Ergebnisse allgemeine Gültigkeit nicht zukommt, indem bei gewissen mittleren Stromintensitäten der Verlauf der Widerstandszunahme der Nervenstrecke mit wachsender Stromintensität an Steilheit verliert. Zwei Möglichkeiten sind nun vorhanden: entweder nimmt bei diesen mittleren Stromintensitäten die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit mit wachsender Stromintensität ab oder wenigstens nicht zu, während sie sonst immer zunimmt, und durch das ungestörte Weiterwachsen der Widerstandsabnahme in Folge der Erwärmung und in Folge der Elektrolyse — sei es allein, sei es im Verein mit der Abnahme der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung — kommt die Abnahme der Steilheit der Widerstandszunahme zu Stande; — oder aber die stellenweise Verarmung wächst unausgesetzt mit der Stromintensität, und die Abnahme der Steilheit der Widerstandszunahme bei diesen mittleren Stromintensitäten ist nur dadurch herbeigeführt, dass die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Erwärmung und in Folge der Elektrolyse durch ihr rascheres Wachsen hier für eine längere Dauer über die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Verarmung die Oberhand gewinnt. Zwischen diesen beiden Möglichkeiten muss also noch entschieden sein, damit die uns vorliegende Aufgabe gelöst sei.

Die Entscheidung kann nicht schwer fallen, insofern es von vornherein gar nicht gut begreiflich ist, dass die Verarmung mit wachsender Stromintensität zeitweilig in ihrem Wachsen aufgehalten sein oder gar abnehmen sollte. Alsdann lässt aber auch für die letztere Möglichkeit sich geltend machen, dass, wo die Steilheit der Widerstandszunahme geringer wird, auch die Dauer der anfänglichen Abnahme des Widerstandes wächst, und dass das Minimum jener Steilheit mit dem Maximum der Dauer dieser Abnahme zusammentrifft. Endlich spricht für eben diese Möglichkeit noch gewichtig der Erfolg der Umkehrung der Stromrichtung in den Versuchen, in welchen unter der Einwirkung von Strömen mittlerer Intensität der Widerstand der Nervenstrecke nach längerer Abnahme in nur sehr wenig

steilem Verlaufe zugenommen hat, indem hier nach der Umkehrung eine sehr bedeutende und die voraufgegangene Zunahme an Grösse weit übertreffende Abnahme des Widerstandes auftritt. Da nämlich die Widerstandsabnahme nach der Umkehrung als Folge davon uns bekannt ist, dass die vorher an Flüssigkeit verarmten Nervenstellen wieder reicher an Flüssigkeit werden und durch dieses Reicherwerden der Widerstand der Nervenstrecke anfangs rascher abnimmt, als er durch die neue stellenweise Verarmung von Neuem zunimmt, muss in den betreffenden Versuchen vor der Umkehrung der Widerstand der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung sehr bedeutend zugenommen haben und nur ein grosser Theil dieser Widerstandszunahme durch die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Erwärmung und in Folge der Elektrolyse uns verdeckt worden sein.

Immerhin aber könnte, um die letzte jener beiden Möglichkeiten zweifellos zur Wahrheit zu erheben, ein besonderer Beweis noch erwünscht sein, dass, wenn auch bei mittleren Stromintensitäten die Steilheit der zur Beobachtung kommenden Widerstandszunahme mit dem Wachsen der Stromintensität kleiner wird, die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke oder die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge derselben doch noch weiter wächst. Ein solcher Beweis ist nun für die Verarmung durch die Formveränderungen des Nerven in Folge seiner Durchströmung leicht zu führen. Untersucht man nämlich bei Versuchsreihen der letzten Art, in welchen man die Stromintensität in den aufeinanderfolgenden Versuchen beträchtlicher verschieden nimmt, und in deren einzelnen Versuchen man die Durchströmung, ohne die Stromrichtung im Nerven umzukehren, gleich lange andauern lässt, nach jedem Versuche die Formveränderungen des Nerven, so findet man die Verengung desselben in der Stromeintrittsgegend desto mehr ausgebildet und desto auffallender, je grösser die Intensität des den Nerven durchsetzenden Stromes war, gleichviel ob die Steilheit der Widerstandszunahme der Nervenstrecke mit dem Wachsen der Stromintensität zugenommen oder abgenommen hat. Man thut dabei gut daran, die Dauer der Durchströmung auf eine kurze Zeit — höchstens 10 Minuten — zu beschränken: alsdann ist die Verengung des Nerven in der Stromeintrittsgegend bei der kleineren Stromintensität mit steilerem Verlaufe der Widerstandszunahme nur unbedeutend, und die grössere Verengung des Nerven bei der mittleren Stromintensität mit weniger steilem Verlaufe der Widerstandszunahme tritt ganz besonders scharf hervor.

So ist es denn ausser Zweifel, dass die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit und die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge dieser Verarmung stetig mit der Stromintensität wachsen.

Hinsichts der Weise aber, in welcher dieses Wachsen statthat, ist an genauere Ermittelungen, die zunächst die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung betreffen müssten, nach den Schwierigkeiten, welche schon bei der Constatirung von deren Wachsen allein uns entgegengetreten sind, vor der Hand offenbar nicht zu denken. Es kommt hinzu, dass die Beziehung der Verarmung zur Widerstandszunahme in Folge der Verarmung eine verwickelte und nur oberflächlich uns bekannt ist. Wie bei einer anderen Gelegenheit schon früher (S. 110.) erörtert worden ist, lässt die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Verarmung im Wesentlichen darauf sich zurückführen, dass, wenn die Nervenflüssigkeit als Körper für sich allein betrachtet wird, ihre ursprüngliche Abweichung von der Walzenform unter der Einwirkung des Stromes sich vergrössert, indem ihr Querschnitt an den an Flüssigkeit verarmenden Nervenstellen kleiner (und an den an Flüssigkeit reicher werdenden Nervenstellen grösser) als vor der Durchströmung wird. Da nun mit dem kleinsten Querschnitte, den der von der Walzenform abweichende Körper an einer Stelle gewinnt, sein Widerstand sehr rasch wächst, muss die Verarmung der Nervenstrecke mit der Stromintensität, wie auch — um dies sogleich noch nachzuholen — mit der Stromdauer, zunehmend langsamer wachsen als die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Verarmung. Aber nicht genug, dass hierauf allein unser Wissen beschränkt ist, verliert selbst dieses Wissen noch an Werth dadurch, dass das Wachsen der Verarmung nicht blos so statthaben kann, dass bestimmte Nervenstellen immer mehr Flüssigkeit verlieren, sondern auch in der Weise, dass immer mehr Nervenstellen, deren Flüssigkeitsgehalt vorher unverändert geblieben war, an Flüssigkeit ärmer werden. Und in der That finden wir, wenn wir darauf hin die Gestaltsveränderungen des Nerven bei seiner Durchströmung untersuchen, dass die Verengung des Nerven in der Stromeintrittsgegend nicht nur desto beträchtlicher, sondern auch von der der Zuleitungsröhre aufgelagerten Nervenstelle aus nach beiden Seiten hin desto mehr ausgedehnt ist, je länger die Durchströmung des Nerven angedauert hat und — mit Ausnahme der grössten Stromintensitäten — je grösser die Stromintensität war. Bei dieser Sachlage aber haben wir es gewiss nicht zu bedauern, dass das Verhältniss, in welchem die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung mit der Stromintensität wächst, sich nicht genau feststellen lässt, insofern wenigstens nicht, als es für unsere Kenntniss der Verarmung doch nicht fruchtbringend gewesen wäre.

Es lässt nun das oben (S. 149.) über die zeitweilige Niederlage der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung Entwickelte noch viel klarer und schärfer sich darlegen mit Hülfe der graphischen Methode; und weil dadurch zugleich das Verständniss der zur Beobachtung kommenden Wi-

derstandsveränderungen im Allgemeinen wesentlich gefördert wird, wollen wir es nicht unterlassen, diese Methode, die schon im Kap. II. so gute Dienste uns geleistet hat, auch hier noch in Anwendung zu ziehen. Dazu haben wir aber die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Erwärmung und in Folge der Elektrolyse zunächst noch etwas genauer, als es bisher geschehen ist, zu verfolgen.

Wenn die intrapolare Nervenstrecke, deren Widerstand vor der Durchströmung

$$w_n = \frac{w_f w_g}{w_f + w_g}$$

ist (s. o. S. 109.), unter dem Einflusse des Stromes wärmer wird, wächst w_g, während w_f kleiner wird, und dadurch muss w_f, das schon vor der Durchströmung nahezu verschwand, bald nach Beginn der Durchströmung sicher ganz verschwinden gegen w_g. Es lässt daher der Erwägung des Einflusses der Erwärmung der Nervenstrecke auf deren Widerstand ohne Fehler

$$w_n = w_f$$

sich zu Grunde legen, und wir haben hiervon von vorn herein Gebrauch gemacht, indem wir ohne Weiteres den Widerstand der Nervenstrecke mit ihrer Erwärmung abnehmen liessen. Es ist aber ferner bekannt, dass der Widerstand der Flüssigkeiten durch die gleiche Steigerung ihrer Temperatur um so weniger abnimmt, je grösser bereits ihre Anfangstemperatur war[1]. Danach muss auch die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge ihrer Erwärmung mit wachsender Temperatur immer langsamer wachsen, — und diese Einsicht führt zu sehr interessanten Folgerungen.

Nehmen wir, um vom Einfacheren zum Verwickelteren fortzuschreiten, zuerst an, die anfängliche Intensität des die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes bleibe während der Dauer der Durchströmung stets unverändert bestehen, so wird bei jeder Durchströmung einer Nervenstrecke in Folge der Wärmeabgabe der Nervenstrecke nach aussen hin die Temperatur der Nervenstrecke von der Schliessung der Kette an mit verzögerter Geschwindigkeit bis zu einem Maximum wachsen und auf diesem Maximum fernerhin verharren (vgl. o. S. 37., 53.); und wenn Ströme verschiedener Intensität unter sonst gleichen Umständen eine Nervenstrecke durchsetzen, wird, weil die Wärmeentwickelung in der Nervenstrecke dem Quadrate der Stromintensität proportional ist, das Temperaturmaximum der Nervenstrecke mit dem Quadrate der Stromintensität wachsen, und sämmtliche Ordinaten der Curve der Temperaturzunahme der Nervenstrecke, bezogen auf die Zeit nach der Schliessung der Kette,

1) *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 191 ff.*; S. 207—8*.

werden proportional zunehmen. Daraus ergiebt sich nunmehr für die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge ihrer Erwärmung Folgendes: Erstlich wird die Widerstandsabnahme bei jeder Durchströmung einer Nervenstrecke von der Schliessung der Kette an mit verzögerter — und zwar mit zunehmend mehr verzögerter Geschwindigkeit als die Temperatur bis zu einem Maximum wachsen und auf diesem Maximum fernerhin verharren. Weiter werden, wenn Ströme verschiedener Intensität unter sonst gleichen Umständen eine Nervenstrecke durchsetzen, die anfängliche Geschwindigkeit und das Maximum der Widerstandsabnahme nicht dem Quadrate der Stromintensität proportional sein, sondern langsamer als dieses und auch mit wachsender Stromintensität immer langsamer wachsen; beide werden also mit wachsender Stromintensität zuerst zunehmend und dann abnehmend rascher und darauf zunehmend langsamer wachsen als die Stromintensität. Endlich werden mit der Maximalordinate der Curve der Widerstandsabnahme, bezogen auf die Zeit nach der Schliessung der Kette, die anderen Ordinaten dieser Curve nicht proportional wachsen, sondern jede Ordinate wird einen relativ desto grösseren Zuwachs erhalten, je kleiner sie ist; es wird also von der Curve der Widerstandsabnahme, wenn wir sie nur bis zu ihrem Maximum hin betrachten, das Anfangsstück immer steiler, concaver gegen die Abscissenaxe und das zweite Stück immer flacher, weniger concav gegen die Abscissenaxe werden.

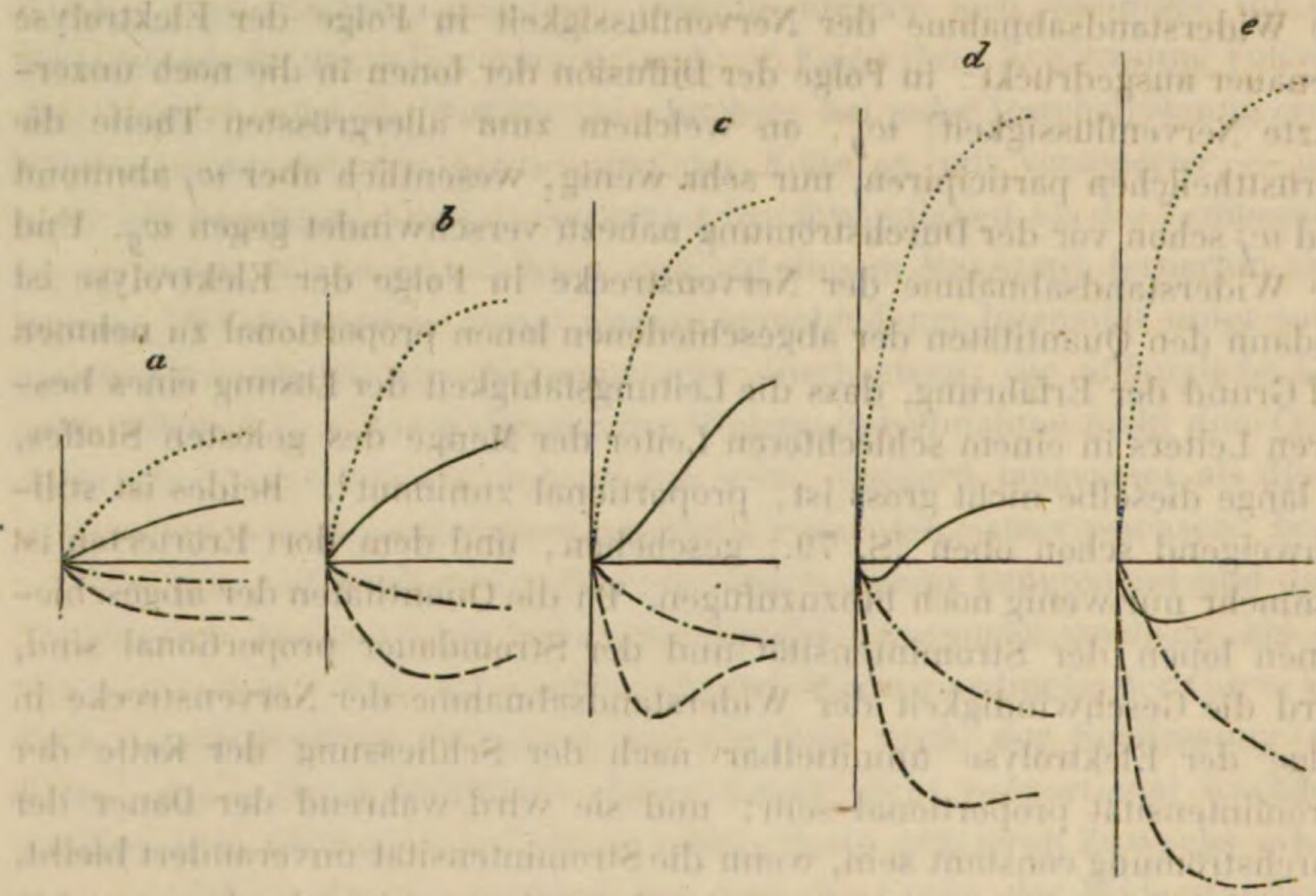
Bleibt aber die anfängliche Intensität des die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes während der Dauer der Durchströmung nicht unverändert, so sind die Abweichungen von dem eben bestimmten Verhalten der Widerstandsabnahme, welche dadurch bedingt sein werden, im Allgemeinen jetzt folgendermassen zu übersehen. Sinkt die Stromintensität, so wird die Verzögerung der Geschwindigkeit, mit welcher die Widerstandsabnahme wächst, dadurch zunehmend vergrössert und das Maximum der Widerstandsabnahme sowohl in seiner Grösse herabgesetzt wie in seinem Eintritte beschleunigt werden; auch wird die Widerstandsabnahme alsdann auf dem Maximum, das sie erreicht, nicht verharren können, sondern von dem Maximum aus wiederum abnehmen müssen. Umgekehrt wird, wenn die Stromintensität ansteigt, die Verzögerung der Geschwindigkeit, mit welcher die Widerstandsabnahme wächst, dadurch abnehmend verringert und der Eintritt des erhöhten Maximums der Widerstandsabnahme immer weiter hinausgeschoben werden. Und alle diese Veränderungen des zuerst bestimmten Verlaufes der Widerstandsabnahme werden desto grösser sein, je rascher die Stromintensität sich verändert und je kleiner die anfängliche Stromintensität war.

Auch für die Erwägung des Einflusses der Elektrolyse der Nervenstrecke auf deren Widerstand kann $w_n = w_f$ gesetzt werden, weil durch

die Widerstandsabnahme der Nervenflüssigkeit in Folge der Elektrolyse (genauer ausgedrückt: in Folge der Diffusion der Ionen in die noch unzersetzte Nervenflüssigkeit) w_g, an welchem zum allergrössten Theile die Gerüsttheilchen participiren, nur sehr wenig, wesentlich aber w_f abnimmt und w_f schon vor der Durchströmung nahezu verschwindet gegen w_g. Und die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse ist alsdann den Quantitäten der abgeschiedenen Ionen proportional zu nehmen auf Grund der Erfahrung, dass die Leitungsfähigkeit der Lösung eines besseren Leiters in einem schlechteren Leiter der Menge des gelösten Stoffes, so lange dieselbe nicht gross ist, proportional zunimmt[1]. Beides ist stillschweigend schon oben (S. 79.) geschehen, und dem dort Erörterten ist nunmehr nur wenig noch hinzuzufügen. Da die Quantitäten der abgeschiedenen Ionen der Stromintensität und der Stromdauer proportional sind, wird die Geschwindigkeit der Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse unmittelbar nach der Schliessung der Kette der Stromintensität proportional sein; und sie wird während der Dauer der Durchströmung constant sein, wenn die Stromintensität unverändert bleibt, dagegen der Stromintensität proportional zunehmen resp. abnehmen, wenn diese während der Dauer der Durchströmung sich verändert.

Die Figuren 12 *a*—*h*. geben nun die graphische Analyse der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke, welche bei der Durchströmung zur Beobachtung kommen, in ihrer Abhängigkeit von der Stromintensität. Die Abscissen und Ordinaten der Figuren haben die von früher her uns geläufige Bedeutung: die Abscissen geben die Zeiten nach der Schliessung der Kette und die Ordinaten, je nachdem sie positiv oder negativ sind, die positiven resp. negativen Zuwächse des Widerstandes. Für die Figuren sind durchaus gleiche Nervenstrecken unter durchaus gleichen Umständen durchströmt vorausgesetzt, nur dass die (anfängliche) Intensität des die Nervenstrecke durchfliessenden Stromes von *a* nach *h* hin für jede folgende Figur grösser ist als für die vorhergehende. Die Differenz der Stromintensitäten zwischen zwei benachbarten Figuren ist aber, um, wie es aus leicht ersichtlichen Gründen sich empfahl, die mittleren Stromintensitäten hinsichts der Zahl der ihnen zuerkannten Figuren bevorzugen zu können, verschieden genommen: sie ist am kleinsten zwischen *d* und *e*, etwas grösser zwischen *c* und *d* und etwa gleich gross zwischen *e* und *f*, noch etwas

1) *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 207.* — Uebrigens würde durch die Annahme, dass die Widerstandsabnahme in Folge der Elektrolyse langsamer wächst als die Quantitäten der abgeschiedenen Ionen, wie beiläufig bemerkt sein mag, die Ungenauigkeit der Curven *OE* in Fig. 5. und in Fig. 6. und der abwechselnd gestrichelten und punktirten Curven in Fig. 12 *a*—*h*. kaum wesentlich grösser werden, als sie jetzt schon aus einem anderen Grunde (s. o. S. 81.) ist.



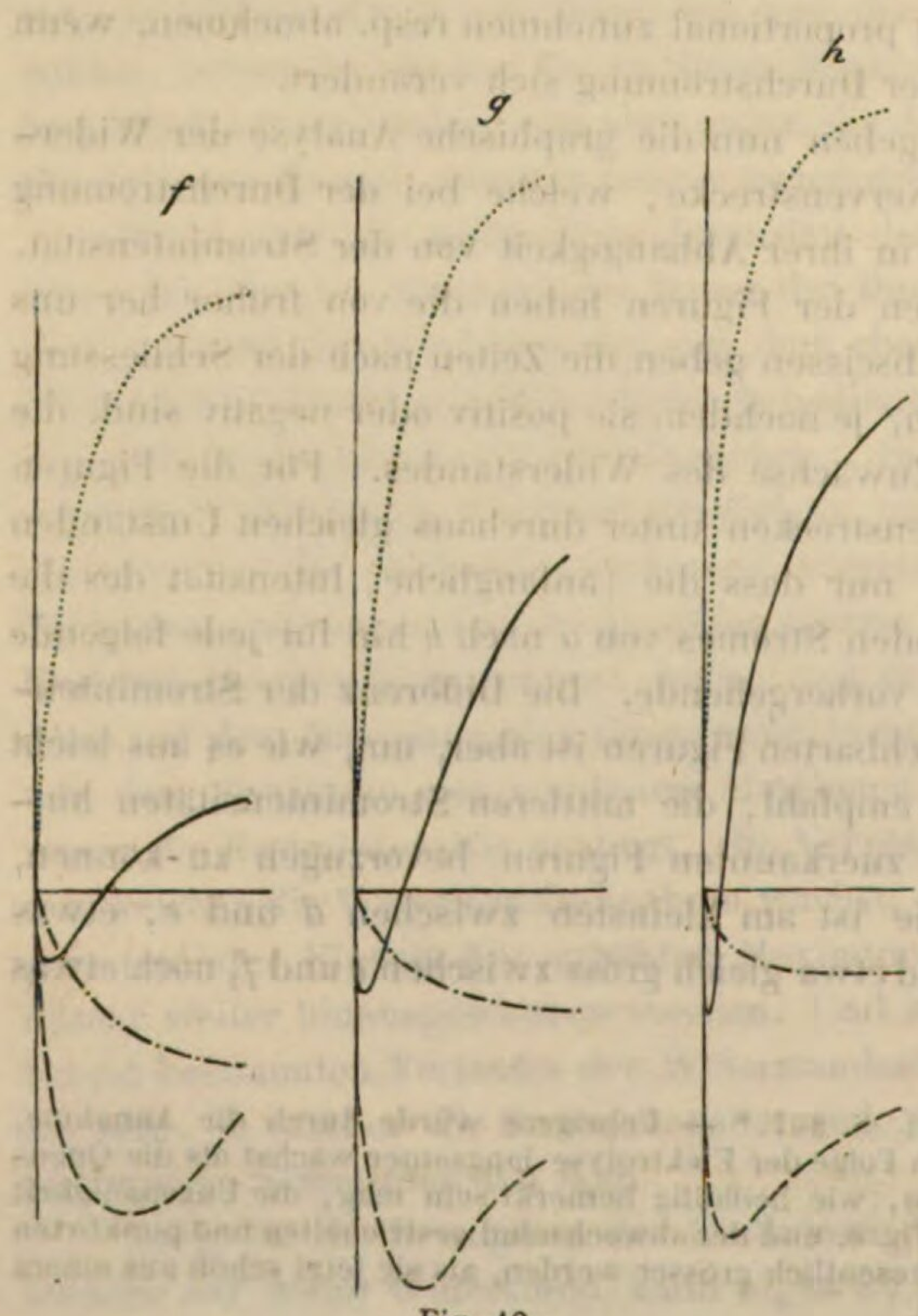


Fig. 12.

grösser zwischen *b* und *c* und wiederum etwa gleich gross zwischen *f* und *g*, endlich am grössten einmal zwischen *a* und *b* und wiederum zwischen *g* und *h* [1]. Die ausgezogenen Curven der Figuren sind durch unsere Versuchsreihen oben in (1 *b*) uns gegeben als die Curven der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke, welche bei der Durchströmung zur Beobachtung kommen. Alsdann sind nach den eben voraufge–

1) Wollte man genauere Beziehungen der Figuren zu den oben mitgetheilten Versuchsbeispielen herstellen, so könnte man etwa Fig 12 *c*. als Vers. 37. oder Fig. 12 *e*. als Vers. 32. u. s. w. entsprechend nehmen.

gangenen Erörterungen die gestrichelten Curven die im Grossen und Ganzen richtigen Curven der Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge ihrer Erwärmung und die abwechselnd gestrichelten und punktirten Curven die im Grossen und Ganzen richtigen Curven der Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse. Endlich sind die punktirten Curven, welche durch die algebraische Subtraction der Ordinaten der abwechselnd gestrichelten und punktirten und der gestrichelten Curve für jeden Punkt der Abscisse von den Ordinaten der ausgezogenen Curve erhalten sind, die im Grossen und Ganzen richtigen Curven der Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Verarmung.

So überflüssig es gewiss auch für denjenigen ist, der dem Gange der Untersuchungen bisher gefolgt ist, so wollen wir doch, jedem Missverständnisse vorzubeugen, ausdrücklich noch hervorheben, dass den Curven der Fig. 12. ein besonderer Werth hinsichts ihrer Genauigkeit nicht zukommt. Die graphische Darstellung der Fig. 12. zeichnet sich vor den oben in Worten gegebenen Entwickelungen nur dadurch, aber freilich auch eben dadurch wesentlich aus, dass sie das vorhin allgemein Hingestellte über den Einfluss, welchen die während der Durchströmung der Nervenstrecke vor sich gehende Veränderung der anfänglichen Stromintensität auf die Widerstandsveränderungen (und die Vorgänge in) der Nervenstrecke ausübt, im Speciellen darthut, und dass sie sowohl die Abhängigkeit der einzelnen Widerstandsveränderungen von der Stromintensität wie auch die Beziehungen der verschiedenen Widerstandsveränderungen zu einander bei jeder einzelnen Stromintensität klarer und schärfer, als es mit Worten geschehen konnte, darlegt. Dieser Vorzüge wegen werden wir in der Folge mehrfach uns auf Fig. 12. berufen, und auch sogleich wird sie uns sehr nützlich sich erweisen, wenn wir einige Bemerkungen zu den Versuchen in (1) nachholen, welche wir gerade nur, um den Vortheil der Fig. 12. zu geniessen, bis hierher aufgeschoben haben.

Man wird unser längeres Verweilen bei dem Einflusse der Stromintensität gewiss gerechtfertigt finden, wenn man unsere gegenwärtige Kenntniss der Widerstandsveränderungen und der Vorgänge in der intrapolaren Nervenstrecke vergleicht mit derjenigen, welche wir am Ende des Kap. II. gewonnen hatten. Wir dürfen aber nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, wie die Erweiterung unserer Kenntniss in dem vorliegenden § insofern doch eine beschränkte gewesen ist, als wir die Widerstandsveränderungen und die Vorgänge in der Nervenstrecke bei der Durchströmung hier nicht, wie im Kap. II., während einer langen Zeit, sondern nur während der ersten 10— 20 Minuten nach der Schliessung der Kette verfolgt haben. Allerdings wird die so erlangte Einsicht in der Folge als für den Hauptzweck unserer Untersuchung ausreichend sich erweisen, und wenn

dieser Zweck nicht aus dem Auge verloren werden sollte, war eine weitere Vertiefung hier nicht zulässig; allein voraussichtlich würde eine grössere Ausdehnung der Versuche dieses § noch zu werthvollen specielleren Aufschlüssen auch für die erste Zeit der Durchströmung, die uns vornehmlich interessirt, geführt haben.

Die der Zunahme des Widerstandes bei der Durchströmung nachfolgende Abnahme desselben (s. Kap. II. § 6. u. 7.) ist in unseren neueren Versuchen eben wegen deren kurzer Dauer meist gar nicht zur Beobachtung gekommen. In der Regel ist sie nur bei den mittleren Stromintensitäten aufgetreten, bei welchen der Zunahme des Widerstandes noch eine längere anfängliche Abnahme desselben vorhergegangen war: was leicht erklärlich ist, da in diesen Fällen das Wachsen der Widerstandsabnahme in Folge der Elektrolyse mit der Stromintensität am wenigsten gehemmt war (vgl. Fig. 12 *d, e.*). In solchen Versuchen hat öfters sogar ein mehrmals wiederholter Wechsel von Zunahme und Abnahme, die beide nur unbedeutend waren, gewissermassen ein Wogen des Widerstandes sich gezeigt, so dass also in kurzen Zwischenräumen die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung bald unbedeutend siegte, bald wiederum unbedeutend unterlag (vgl. Vers. 31.). Und diese letzten Versuche verdienen eine besondere Beachtung deshalb, weil die treffliche Constanz des Stromes den arglosen Beobachter auch nicht im Entferntesten die enormen Widerstandsveränderungen vermuthen lässt, welche trotz der Ruhelage des Magnets in der Nervenstrecke statthaben: erst die Umkehrung der Stromrichtung deckt, indem sie die Compensation der verschiedenartigen Widerstandsveränderungen stört, die Täuschung auf, welche vorlag.

Wiederholte darauf gerichtete Bemühungen, die der Zunahme nachfolgende Abnahme des Widerstandes bei andauernder Durchströmung der Nervenstrecke in Einer Richtung auch bei grossen Stromintensitäten zur Beobachtung kommen zu lassen, sind fruchtlos gewesen. Nur fielen, während der Widerstand im Ganzen regelmässig mit abnehmender Geschwindigkeit wuchs, mehrmals plötzliche kurze Verzögerungen mit nachfolgenden kurzen Beschleunigungen der Widerstandszunahme auf, welche, wie man leicht übersieht, im Wesentlichen auf dasselbe hinauslaufen können wie der Wechsel von Zunahme und Abnahme des Widerstandes. Wegen der verhältnissmässig geringen Grösse der Widerstandsabnahme in Folge der Elektrolyse bei grossen Stromintensitäten (vgl. Fig. 12 *g, h.*) liesse sich das Ausbleiben der in Rede stehenden Widerstandsabnahme bei diesen Stromintensitäten wohl verstehen: indessen muss es doch weiteren Untersuchungen überlassen bleiben, vor Allem die Thatsache festzustellen.

Uebrigens wird bei der genaueren Verwerthung der Ergebnisse der nach der *Wheatstone*'schen Methode angestellten Versuche und der Versuche

mit Messung der Stromintensität nicht vernachlässigt werden dürfen, dass in Folge der Anwesenheit des Vergleichswiderstandes im Nervenzweige bei den ersteren Versuchen durch die gleiche Widerstandsveränderung der Nervenstrecke die gleiche Intensität des die Nervenstrecke durchfliessenden Stromes weniger verändert wird als bei den letzteren Versuchen. Möglicherweise lässt gerade dieser Umstand, indem die Widerstandsabnahme in Folge der Elektrolyse durch die raschere Abnahme der anfänglichen Stromintensität in ihrem Wachsen mehr gehemmt wird als die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung, deren Zunahme ausserdem noch durch andere Momente verzögert wird, bei den Versuchen mit Messung der Stromintensität die der Zunahme des Widerstandes nachfolgende Abnahme desselben überhaupt im Ganzen später oder gar seltener auftreten als bei den nach der *Wheatstone*'schen Methode angestellten Versuchen.

So vieles Interessante nun auch ausserdem die Versuche dieses § darbieten, so wollen wir doch, um nicht zu weitab geführt zu werden, nur noch auf die anfängliche Abnahme des Widerstandes bei den grossen Stromintensitäten zu sprechen kommen, die zu rasch vorübergeht, als dass sie selbst an den Ausschlägen des Spiegels zu beobachten wäre. Vergleicht man bei Versuchsreihen der letzten Art die erste nach der Schliessung der Kette gemachte Bestimmung der Stromintensität im Nervenkreise (*N*-Bestimmung) mit der Bestimmung der Stromintensität, als statt der Nervenstrecke der Vergleichswiderstand eingeschaltet war (*Wd*-Bestimmung), so findet man bei den niedersten Stromintensitäten eine unbedeutende Differenz beider Bestimmungen in den einen Versuchsreihen zu Gunsten der *N*-Bestimmung, in den anderen Versuchsreihen zu Gunsten der *Wd*-Bestimmung; bei den grösseren Stromintensitäten aber findet man stets eine beträchtliche Differenz zu Gunsten der *N*-Bestimmung. Dies ist in vollem Einklange mit dem, was wir, nur gewissermassen auf einem Umwege, oben in (I *a*) unmittelbar beobachtet haben, dass der Widerstand der Nervenstrecke, der bald etwas grösser bald etwas kleiner als der Vergleichswiderstand ist, in den ersten wenigen Secunden nach der Schliessung der Kette bei den niedersten Stromintensitäten nur langsam zunimmt, bei den grösseren Stromintensitäten aber rasch abnimmt. Da wir nun bei den Versuchsreihen von (I *b*) die eben erwähnte Differenz zu Gunsten der *N*-Bestimmung weiter noch von der grössten Stromintensität, die in (I *a*) uns zugänglich war, bis zu der grössten Stromintensität der Versuche in (I *b*) fortbestehen und sogar, freilich mit zunehmender Stromintensität immer langsamer, wachsen sehen, kann die anfängliche Abnahme des Widerstandes und das Wachsen dieser Abnahme mit der Stromintensität auch bei den grössten Stromintensitäten keinem Zweifel unterliegen.

Zum Schlusse müssen wir nach der langen Abschweifung zur stellenweisen Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit noch einmal zurückkehren, um die Abhängigkeit ihrer Rückbildung von der Stromintensität zu betrachten. Hier versteht es sich, da die Verarmung und die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung bei der Durchströmung mit der Stromintensität wachsen, ganz von selbst, dass auch die Flüssigkeitsrückkehr zu den vorher an Flüssigkeit verarmten Nervenstellen und die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Flüssigkeitsrückkehr sowohl nach der Durchströmung wie bei andauernder Durchströmung nach der Umkehrung der Stromrichtung desto grösser sein müssen, je grösser die Intensität des die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes war. Zum Ueberflusse liefern aber auch die Versuche oben in (1 *a*) für die Unterbrechung des Stromes und die Versuche oben in (1 *b*) für die Umkehrung der Stromrichtung die experimentellen Beweise des eben ausgesprochenen Satzes. Aus den Ergebnissen der ersteren Versuche im Falle der Verringerung der Stromintensität ist der Satz durch unsere Ausführungen oben (S. 127 ff.) im Wesentlichen bereits entwickelt; und aus den Versuchen in (1 *b*) ist der Satz, wenn er auch wegen vielfacher Verwickelungen im Speciellen ungemein schwer abzuleiten ist, im Grossen und Ganzen doch auf den ersten Blick zu entnehmen. Es lassen alsdann die Erfahrungen des § 9. des Kap. II. mit Hülfe unseres zweiten Versuchsverfahrens (1 *b*) leicht auch noch für grössere Stromintensitäten, als in den früheren Versuchen in Anwendung kamen, sich bestätigen.

§ 2. Von dem Einflusse der Länge und des Querschnittes der intrapolaren Nervenstrecke.

Wie im vorigen § alle die Umstände, welche die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke möglicherweise beeinflussen, mit Ausnahme der Stromintensität constant gehalten werden mussten, so wird nunmehr, nachdem wir den wesentlichen Einfluss der Stromintensität kennen gelernt haben, bei der Erforschung der weiteren Abhängigkeit jener Widerstandsveränderungen die erste Bedingung der Versuche die sein, dass die Intensität des die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes constant gehalten und nicht bei der Variation der Länge, des Querschnittes u. s. w. der Nervenstrecke in Folge der Veränderung des Widerstandes der Nervenstrecke selbst mit variirt wird. Zu dem Ende neben der Nervenstrecke so grosse Widerstände einzuschalten, dass die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke bei ihrer Verlängerung u. s. w. den Widerstand des Nervenzweiges resp. des Schliessungskreises nicht irgend wesentlich ändern, geht natürlich hier, wo wir gerade Widerstandsveränderungen der

Nervenstrecke studiren wollen, nicht an. Ebensowenig lässt jene Bedingung, wie auf der Hand liegt, dadurch, dass man mit der Erhöhung oder Verringerung des Widerstandes der Nervenstrecke gleichzeitig die elektromotorische Kraft in dem Versuchskreise oder — bei den Versuchen mit Messung der Stromintensität — die eingeschaltete Drahtlänge des Rheochordes entsprechend vergrössert resp. verkleinert, auch nur einigermassen vollkommen sich erfüllen. Vielmehr ist das einzige Auskunftsmittel hier das Verfahren der Opposition.

(1.) Von dem Verfahren der Opposition.

Das Verfahren besteht einfach darin, dass wir, zur *Wheatstone*'schen Methode der Widerstandsbestimmung zurückkehrend, an die Stelle des flüssigen Vergleichswiderstandes *Wd* in der Versuchsanordnung Fig. 1. ein zweites, dem ersten gleiches Paar von Zuleitungsröhren, deren Thonspitzen mit einem zweiten Nerven überbrückt sind, treten lassen. So verschieden auch die Länge oder der Querschnitt u. s. w. der beiden durchströmten Nervenstrecken sein mag, so wird doch die Stromintensität in beiden Nervenstrecken zu einer und derselben Zeit immer die nämliche sein. Freilich wird nunmehr, wenn wir bei der Durchströmung der Nerven durch Verschiebung des Schiebers *S* die Ruhelage des Spiegels erhalten, aus der erforderlichen Veränderung der Schieberstellung von einem Zeitmomente zum anderen unmittelbar nur sich entnehmen lassen, wie das Verhältniss des Widerstandes der einen Nervenstrecke zum Widerstande der anderen Nervenstrecke in der Zwischenzeit sich verändert hat, ohne dass hinsichts der Art der Widerstandsveränderungen beider Nervenstrecken ein Schluss gestattet sein wird. Indessen beeinträchtigt dies die Brauchbarkeit des Verfahrens für uns keineswegs, weil wir auf Grund der voraufgegangenen Untersuchungen die Kenntniss der Widerstandsveränderungen der einen der beiden Nervenstrecken von vornherein uns werden sichern können, so dass mit der Kenntniss jenes Verhältnisses zugleich auch die Widerstandsveränderungen, welche die andere Nervenstrecke bei der Durchströmung erfährt, uns gegeben sein werden.

Dem Stromwender *B*. weisen wir für die Oppositionsversuche, um durch Umlegen seiner Wippe die Stromrichtung in beiden Nerven zugleich umkehren zu können, einen anderen Platz an; und zwar schalten wir ihn vortheilhaft zwischen *K* und *Rh* ein, weil so dieselbe Nervenstrecke bei beiden Stellungen der Wippe *B* derselben Rheostatenhälfte entspricht, so dass die Ablesungen am Rheostaten ohne umständliche Ueberlegungen ein richtiges Bild von den Veränderungen des Verhältnisses der beiden Nervenwiderstände zu einander geben. Die Fig. 13., welche unsere Versuchsanordnung in der Weise verändert darstellt, zeigt zugleich auch die

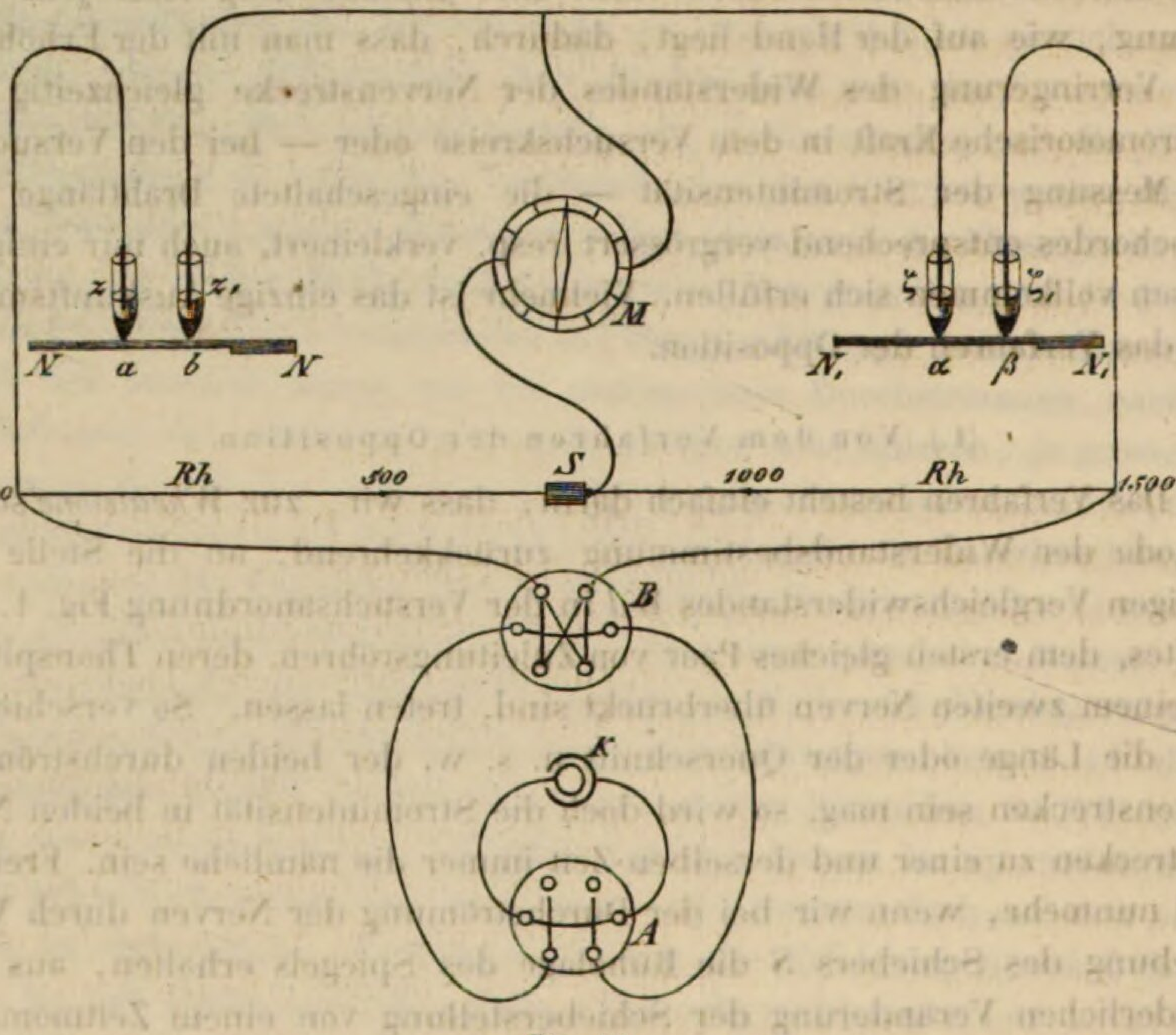


Fig. 13.

Bezeichnungen, deren wir der Kürze halber in der Folge uns bedienen wollen. N ist der Nerv, der auf der Seite des Anfanges, N_1 der Nerv, der auf der Seite des Endes der Rheostatentheilung sich befindet; z und z_1 sind die Zuleitungsröhren für N, ζ und ζ_1 entsprechend die Zuleitungsröhren für N_1; ab ist die durchströmte Strecke von N, $\alpha\beta$ entsprechend die durchströmte Strecke von N_1. Den Widerstand von ab wollen wir w_{ab}, den Widerstand von $\alpha\beta$: $w_{\alpha\beta}$ und endlich $\frac{w_{ab}}{w_{\alpha\beta}}$: Φ nennen. Zum Verständniss der unten folgenden Beispiele der Oppositionsversuche ist danach festzuhalten, dass, indem die nackt hingestellten Zahlen wiederum die Stellung des Schiebers S zu derjenigen Zeit, welche daneben in gleicher Höhe in der Zeitcolumne aufgeführt ist, angeben, z. B. 2 *h.* 5 *m.* 600 bedeutet, dass 2 *h.* 5 *m.* $\Phi = \frac{600}{900}$ war.

K nehmen wir in den Oppositionsversuchen in der Regel = 1 Daniell und höchstens = 4 Daniell's. Indem wir so nur geringe Stromeskräfte aufbieten, wissen wir, wenn wir eine lebensfähige und nicht lange vom lebenden Gesammtorganismus getrennte Nervenstrecke zur Untersuchung verwenden und sie 6—8—10^mm^ lang nehmen, von dieser Nervenstrecke nach Kap. II. wie nach § 1. dieses Kap., dass ihr Widerstand bei nicht zu lan-

ger Durchströmung stetig und zwar in der allerersten Zeit mit beschleunigter, sodann aber mit abnehmender Geschwindigkeit wächst. Die anfängliche Abnahme des Widerstandes, welche unter Umständen unmittelbar nach der Schliessung der Kette eintritt, darf daher für jene Nervenstrecke, wenn wir aus ihren Widerstandsveränderungen auf die der zweiten Nervenstrecke Schlüsse ziehen, ohne Weiteres ganz oder doch zum Mindesten mit Ausschluss der ersten Minute nach der Schliessung der Kette ausser Acht bleiben. Dagegen wird nicht zu übersehen sein, dass in den Oppositionsversuchen, weil an die Stelle des constanten Vergleichswiderstandes *Wd* der veränderliche Widerstand der zweiten Nervenstrecke getreten ist, die Widerstandszunahme jener ersten Nervenstrecke bei der Durchströmung etwas anders erfolgen wird als in den früheren Versuchen, so z. B. wenn gleichzeitig auch der Widerstand der zweiten Nervenstrecke bei der Durchströmung wächst, in Folge des rascheren Sinkens der Stromintensität mit rascher abnehmender Geschwindigkeit wachsen wird.

Wir beginnen damit, dass wir durch den Versuch der Zuverlässigkeit des Oppositionsverfahrens uns vergewissern: sind alle Umstände, welche die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke möglicherweise beeinflussen, bei beiden Nervenstrecken constant gehalten, so muss der Widerstand beider Nervenstrecken beim Beginne der Durchströmung gleich sein und während der Durchströmung gleich bleiben. Als Nerven von gleicher Lebensfähigkeit zur Zeit ihrer Trennung vom Gesammtorganismus verwenden wir die beiden Ischiadici desselben Frosches. Nachdem wir z, z_1, ζ und ζ_1 in gleicher Weise und vornehmlich mit gleichen vorderen Kanten ihrer Thonspitzen hergerichtet und den Kanten von z und z_1 einerseits und von ζ und ζ_1 andererseits den nämlichen Abstand (6—10^{mm}) gegeben haben, präpariren wir die beiden Ischiadici desselben Frosches rasch nach einander möglichst gleichmässig in gleicher Länge und legen sie, ohne sie irgend zu spannen, den Thonkanten so auf, dass einmal a und α und wiederum b und β die nämlichen — anatomisch bestimmten — Stellen beider Nerven sind. Schliessen wir jetzt die Kette, so ist Φ fast $= 1$ und verändert sich auch nur sehr wenig, indem es entweder wächst oder kleiner wird, während die Kette 6—8—10 *m.* geschlossen bleibt; kehren wir alsdann die Stromrichtung um, so wird Φ kleiner, wenn es vor der Umkehrung gewachsen war, grösser, wenn es vor der Umkehrung kleiner geworden war, die ganze Veränderung von Φ während 6—10 *m.* nach der Umkehrung ist aber wiederum nur sehr unbeträchtlich. Bei der öfteren Wiederholung des Versuches wiederholen sich die Wahrnehmungen, nur dass Φ unmittelbar nach der Schliessung der Kette in einem Versuche etwas grösser, in einem anderen Versuche etwas kleiner als 1 ist und in einem Versuche wächst, in einem anderen Versuche abnimmt; auch ist

die ganze Veränderung von Φ in den verschiedenen Versuchen von etwas verschiedener Grösse. Die Ergebnisse entsprechen also, da wir ja die Umstände, welche die Widerstandsveränderungen beeinflussen, höchstens annähernd constant zu halten vermögen, ganz vortrefflich der Voraussetzung.

Versuch 49.

	K:	1 Daniell. —	
10 *h*.	30 *m*.	Mittelgrosse Rana esc. ††.	
	40 *m*.	Beide Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass *a* und *α* und wiederum *b* und *β* die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind.	
	45 *m*.	*K* geschlossen. Stromeintritt bei *a* und *α*.	
		5″. 755,5.	Φ nimmt zu.
	46 *m*.	756,5.	
	47 *m*.	760,5.	
	48 *m*.	764.	
	50 *m*.	767.	
	52 *m*.	769.	
	55 *m*.	771.	— Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *b* und *β*.
		5″. 771.	Φ nimmt ab.
	56 *m*.	766.	
	57 *m*.	762.	
	58 *m*.	760,5.	
	60 *m*.	756,5.	
11 *h*.	2 *m*.	752,5.	
	5 *m*.	747.	— Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *a* und *α*.
		15″. 745.	Φ nimmt zu.
	6 *m*.	747.	
	7 *m*.	751.	
	8 *m*.	754,5.	
	10 *m*.	759.	— Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *b* und *β*.
		5″. 759.	Φ nimmt ab.
	11 *m*.	754.	
	12 *m*.	753,5.	
	14 *m*.	750,5.	
	15 *m*.	749,5.	*K* geöffnet. — Keine Polarisationsablenkung.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. N_1 rechter, N linker Ischiadicus.

ab u. $\alpha\beta = 6^{mm}$; br u. $\beta\varrho = 17^{mm}$; ao u. $\alpha o = 5^{mm}$; al u. $\alpha\lambda = 38^{mm}$.

Die Wirbelenden beider Nerven lagen nach links, die Muskelenden nach rechts.

Versuch 50.

	K:	4 Daniell's.	
8 *h.*	55 *m.*	Mittelgrosse Rana tempor. ††.	
9 *h.*	2 *m.*	Beide Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass a und α und wiederum b und β die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind.	
	8 *m.*	K geschlossen. Stromeintritt bei b und β.	
	10″.	764.	Φ nimmt ab.
	9 *m.*	760.	
	10 *m.*	759.	
	11 *m.*	758,5.	Φ verändert sich nicht merklich bis
	13 *m.*		und nimmt dann weiter ab.
	14 *m.*	757,5.	Φ verändert sich nicht merklich bis
	16 *m.*		wo Wippe B umgelegt wird, so dass Stromeintritt bei a und α.
	10″.	756,5.	Φ nimmt zu.
	17 *m.*	760.	
	18 *m.*	763,5.	
	19 *m.*	767.	
	20 *m.*	769,5.	
	22 *m.*	773.	
	24 *m.*	774.	K geöffnet. Keine Polarisationsablenkung.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. N rechter, N_1 linker Ischiadicus.

ab und $\alpha\beta = 7^{mm}$; al und $\alpha\lambda = 14^{mm}$; $bo = 5^{mm}$; $\beta o = 6^{mm}$; $br = 39^{mm}$; $\beta\varrho = 40^{mm}$.

Die Wirbelenden beider Nerven lagen nach rechts, die Muskelenden nach links.

Doch sind solche Ergebnisse eben nur durch Sorgfalt bei der Herrichtung der Versuche, wie sie bei den Oppositionsversuchen überhaupt unumgänglich nothwendig ist, zu gewinnen. Am meisten von Bedeutung ist, dass die Thonkanten gleich stumpf und die Nerven in gleicher Weise präparirt und aufgelagert sind — wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man absichtlich die Kanten etwas ungleich hält oder die Nerven

verschieden gespannt oder mit verschiedenen (anatomischen) Stellen auf die Zuleitungsröhren bringt —, und gerade diesen Bedingungen ist nur sehr schwer vollkommen zu genügen; kleine Ungleichheiten der Länge der beiden Nervenstrecken, welche viel eher sich vermeiden liessen, erweisen sich hiergegen nur von geringerer Bedeutung. Ist unmittelbar nach der Schliessung der Kette $\Phi < 0,9$ oder $> 1,1$, so liegen grössere und in der Regel (zunächst durch Umlagerung der Nerven) leicht auffindbare Ungleichheiten in der Spannung oder Auflagerung der Nerven oder in der Bildung der Thonkanten vor, und Φ erfährt auch während der Durchströmung grössere, den folgenden Ermittelungen gemässe Veränderungen. Bei sorgfältiger Herrichtung der Versuche findet man aber meist Φ nach der Schliessung der Kette wesentlich $> 0,9$ und wesentlich $< 1,1$, und seine Veränderungen während der Durchströmung sind die vorhin geschilderten.

Bei der Durchsicht der voraufgegangenen Versuchsbeispiele wird es aufgefallen sein, dass wir bisher überall mit grosser Vorliebe und oben im § 1. sogar ausschliesslich eine Strecke des Nerven nicht weit unterhalb des Abganges des stärksten Oberschenkelastes dem Strome ausgesetzt haben. Dazu bestimmten uns die Verschiedenheiten, welche im Verlaufe des Ischiadicus der Querschnitt desselben darbietet, und die Schnittstellen, welche da, wo Aeste vom Stamme abgingen, der herauspräparirte Ischiadicus besitzt. Solche Schnittstellen kommen an der unteren (peripherischen) Hälfte des Nerven, wenn man diese von einigen Mm. unterhalb des Abganges des stärksten Oberschenkelastes an rechnet, — den sehr seltenen Fall ausgenommen, dass noch in der Gegend der Theilungsstelle ein feines Aestchen an die Oberschenkelmuskeln abgeht — nicht mehr vor, und an dem obersten Stücke dieser unteren Hälfte verändert sich auch der Querschnitt des Nerven nur unbedeutend. Ohne dass man die von *Heidenhain*[1] angewandte Bestimmungsmethode des Nervenquerschnittes, deren Ergebnisse gerade nach unseren vorliegenden Untersuchungen nur von zweifelhaftem Werthe werden erscheinen können, zu Hülfe nimmt, lässt nämlich einfach durch die Besichtigung besonders dicker Nerven sich feststellen, dass der Querschnitt des Ischiadicus dicht unterhalb des Abganges des stärksten Oberschenkelastes etwas grösser ist als einige Mm. weiter unten, wo noch ein Ast vom Stamme abgegangen ist, und sodann nach der Peripherie hin in einem ersten Stücke nur ganz langsam, dann aber rascher wächst; zugleich wird mit dem Wachsen des Querschnittes der in dem ersten Stücke fast cylindrische Nerv mehr und mehr abgeplattet. In der von uns bevorzugten Nervenstrecke unterlag also der Nerv nicht

1) *R. Heidenhain*, Studien des physiologischen Instituts zu Breslau. Erstes Heft. 1861. S. 20—25.*

nur von Schnittstellen frei, sondern auch am ehesten in der Gestalt eines Cylinders der Untersuchung.

Diese Bemerkungen machen die Bedeutung, welche bei den eben angestellten Oppositions-Vorversuchen dem zukommt, dass die beiden Nerven in gleicher Spannung mit den nämlichen anatomischen Stellen den entsprechenden Thonkanten aufliegen, leicht erklärlich, sobald man die wesentliche Abhängigkeit der Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke von der Grösse der Berührungsflächen zwischen dieser und den Zuleitungsröhren, wie sie die Folge herausstellen wird, in Rechnung bringt. Sie decken aber auch zugleich die grossen Misslichkeiten auf, welchen die Untersuchung des Einflusses der Länge der durchströmten Nervenstrecke, zu welcher wir jetzt übergehen, unterworfen ist.

(2.) Von dem Einflusse der Länge auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke.

Wir vergrössern, nachdem wir die voraufgegangenen Oppositions-Vorversuche angestellt haben, den Abstand von z und z_1, so dass er ein Mehrfaches des Abstandes von ζ und ζ_1 ist, und es handelt sich nunmehr um die Auflagerung der beiden Nerven. Da auch die obere Hälfte des Ischiadicus an verschiedenen Stellen einen verschiedenen Querschnitt besitzt, ist auf Constanz des Querschnittes bei den Versuchen von vornherein Verzicht zu leisten, und der Schnittstellen wegen geben wir wiederum der unteren Hälfte des Ischiadicus den Vorzug. Wir können aber weiter nur entweder a und α oder b und β dieselben anatomischen Stellen beider Nerven sein lassen, und weil die Grösse der Berührungsfläche zwischen der Nervenstrecke, und der Zuleitungsröhre von viel bedeutenderem Einflusse ist an der Eintrittsstelle des Stromes in den Nerven als an der Austrittsstelle des Stromes aus demselben (s. u. § 3.), so werden wir, je nachdem der Strom bei a und α oder bei b und β in die Nerven wird eintreten sollen, die ersteren oder die letzteren gleich nehmen. Endlich legt den Versuchen noch eine Beschränkung auf der Umstand, dass die richtige Auswahl gleicher anatomischer Stellen an beiden Nerven desto schwieriger ist, je mehr man sich dem Muskelende des Nerven nähert, weil die Abgangsstelle des stärksten Oberschenkelastes den einzigen zuverlässigen Anhaltspunkt bietet; und da so viel darauf ankommt, dass gerade die Stellen, an welchen der Strom in die Nerven eintritt, anatomisch dieselben sind, werden wir diese Stellen immer am oberen Ende der unteren Hälfte des Ischiadicus annehmen.

Soll also der Strom durch z und ζ in die Nerven eintreten, so legen wir die beiden rasch nach einander in gleicher Länge präparirten Ischiadici desselben Frosches, ohne sie irgend zu spannen, so auf die Thonkanten,

dass a und α die nämlichen, nicht weit vom Abgange des stärksten Oberschenkelastes entfernten Stellen beider Nerven sind und der Strom beide Nervenstrecken absteigend durchfliessen muss. Nach der Schliessung der Kette finden wir dann Φ etwa $= \frac{4}{3} - 2$, wenn a und b etwa den doppelten bis dreifachen Abstand von einander haben wie α und β; und während die Kette 6—8—10 *m.* geschlossen bleibt, wächst meist Φ mehr oder weniger beträchtlich, in einigen Fällen aber bleibt es constant oder nimmt, aber dann immer nur sehr wenig, ab[1]. Die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes nimmt also an Steilheit in ihrem Verlaufe mit der Länge der durchströmten Nervenstrecke zu.

Versuch 51.

K: 1 Daniell.

11 *h.* 54 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ††.

12 *h.* 3 *m.* Beide Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass a und α die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind.

8 *m.* *K* geschlossen. Stromeintritt bei a und α.

20″. 825. Φ nimmt zu.

9 *m.* 847.

10 *m.* 865. Empfindlichkeit: auf 10^{mm} Verschiebung von *S* c. 5^{mm} const. Ablenk. d. Spiegels.

12 *m.* 899.

14 *m.* 928. *K* geöffnet. — 2^{sc} Polarisationsablenkung.

20 *m.* wird der Nerv *N* von den Zuleitungsröhren ganz abgehoben und von Neuem sorgsam so aufgelegt, dass a dieselbe (anatomische) Stelle wie α ist.

40 *m.* *K* geschlossen. Stromeintritt bei a und α.

15″. 830. Φ nimmt zu.

41 *m.* 841.

42 *m.* 850.

43 *m.* 858,5.

45 *m.* 876.

53 *m.* 943. *K* geöffnet. — $\frac{1}{2}^{sc}$ Polarisationsablenkung.

1) Bei diesen Versuchen muss die innere Polarisation, weil sie mit der Länge der durchströmten Nervenstrecke wächst, die Widerstandszunahme von *ab* und daher auch Φ zu gross erscheinen lassen. Indessen ist aus der geringen Polarisationsablenkung (0,5 — 2^{sc}) unmittelbar nach der Oeffnung der Kette im Verein mit der Empfindlichkeit der Versuchsanordnung (auf 10^{mm} Verschiebung von *S* c. 5^{sc} const. Ablenkung des Spiegels) zu entnehmen, dass die Polarisation nur von verschwindendem Einflusse auf die Versuchsergebnisse gewesen ist.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. Ihre Wirbelenden lagen nach links, ihre Muskelenden nach rechts.

$ab = 15^{mm}$; $ao = 2^{mm}$; $al = 34^{mm}$; $br = 6^{mm}$.

$\alpha\beta = 6^{mm}$; $\alpha o = 2^{mm}$; $\alpha\lambda = 34^{mm}$; $\beta\varrho = 16^{mm}$.

Versuch 52.

K: 1 Daniell.

10 *h*. 28 *m*.	Mittelgrosse Rana esc. ††.		
37 *m*.	Beide Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass *a* und *α* die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind.		
44 *m*.	*K* geschlossen. Stromeintritt bei *a* und *α*.		
	10″.	906.	*Φ* nimmt zu.
45 *m*.		908.	
47 *m*.		909.	*Φ* verändert sich jetzt nicht merklich bis
50 *m*.			von wo an *Φ* abnimmt.
52 *m*.		908.	
56 *m*.		906.	*K* geöffnet. — 1^{sc} Polarisationsablenkung.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt (N linker, N_1 rechter Ischiadicus). Ihre Wirbelenden lagen nach links, ihre Muskelenden nach rechts.

$ab = 15^{mm}$; $ao = 4^{mm}$, $al = 38^{mm}$; $br = 6^{mm}$.

$\alpha\beta = 5^{mm}$; $\alpha o = 4^{mm}$; $\alpha\lambda = 38^{mm}$; $\beta\varrho = 17^{mm}$.

Da mit der Verlängerung der durchströmten Nervenstrecke in unseren Versuchen stets und zwar besonders durch die Vergrösserung der Berührungsfläche zwischen der Nervenstrecke und der Zuleitungsröhre an der Stromaustrittsstelle eine Vergrösserung des Querschnittes der Nervenstrecke verbunden war, d. h. eine Veränderung, welche, wie wir sogleich sehen werden, die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke gerade in der entgegengesetzten Weise wie die Verlängerung beeinflusst, ist das eben gewonnene Ergebniss a fortiori gesichert. In der That findet man auch, wenn man auf z_1 den Nerven nicht, wie wir es bisher gethan haben, mit seiner Breitseite, sondern mit seiner Schmalseite — die Rami peroneus und tibialis nicht neben, sondern über einander — auflagert, *Φ* nach der Schliessung der Kette beträchtlich grösser und sieht es bei der Durchströmung rascher wachsen als vorhin. Und dasselbe beobachtet man, wenn man zum Ueberflusse doch noch als *a* und *α* die nämlichen, nicht weit vom Muskel entfernten Stellen beider Nerven nimmt und den Strom aufsteigend die Nervenstrecken durchfliessen lässt. In diesen beiden Fällen

summirt sich die Wirkung der Querschnittsabnahme zur Wirkung der Längenzunahme, während vorhin von der letzteren Wirkung die Wirkung der Querschnittszunahme sich subtrahirt hat.

(3.) Von dem Einflusse des Querschnittes auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke.

Für die Feststellung des Einflusses des Querschnittes der Nervenstrecke gehen wir wiederum von unseren Oppositions-Vorversuchen aus und ändern diese nur dahin ab, dass wir, nachdem wir zunächst Alles wie bei den Vorversuchen ausgeführt haben, an die Nervenstrecke *ab* in einem Theile ihrer Länge — und zwar von der den Strom von *ab* fortführenden (negativen) Zuleitungsröhre aus nach der Mitte von *ab* hin — noch das anatomisch gleichwerthige Stück eines dritten Nerven N_2 anlegen in der Weise, wie es Fig. 14 *A*. zeigt; das von *ab* fortgeführte Stück des dritten Nerven wird dabei auf der Glasplatte eines besonderen Statives isolirt gehalten. Dass wir so den Querschnitt nicht der ganzen durchströmten Nervenstrecke *ab*, sondern nur eines der Stromaustrittsstelle zugehörigen Theiles derselben vergrössern, hat seinen Grund darin, dass anderenfalls in Folge der Vergrösserung der Berührungsfläche zwischen der Nervenstrecke und der Thonspitze der positiven Zuleitungsröhre die Wirkung der Querschnittsvergrösserung nicht rein, sondern mit einer anderen Wirkung, die wir im § 3. werden kennen lernen, vermischt zur Beobachtung kommen würde; und eben deshalb müssen wir auch, von anderen Gründen ganz abgesehen, es uns versagen, verschieden dicke Strecken desselben Nerven hier in Vergleich zu ziehen.

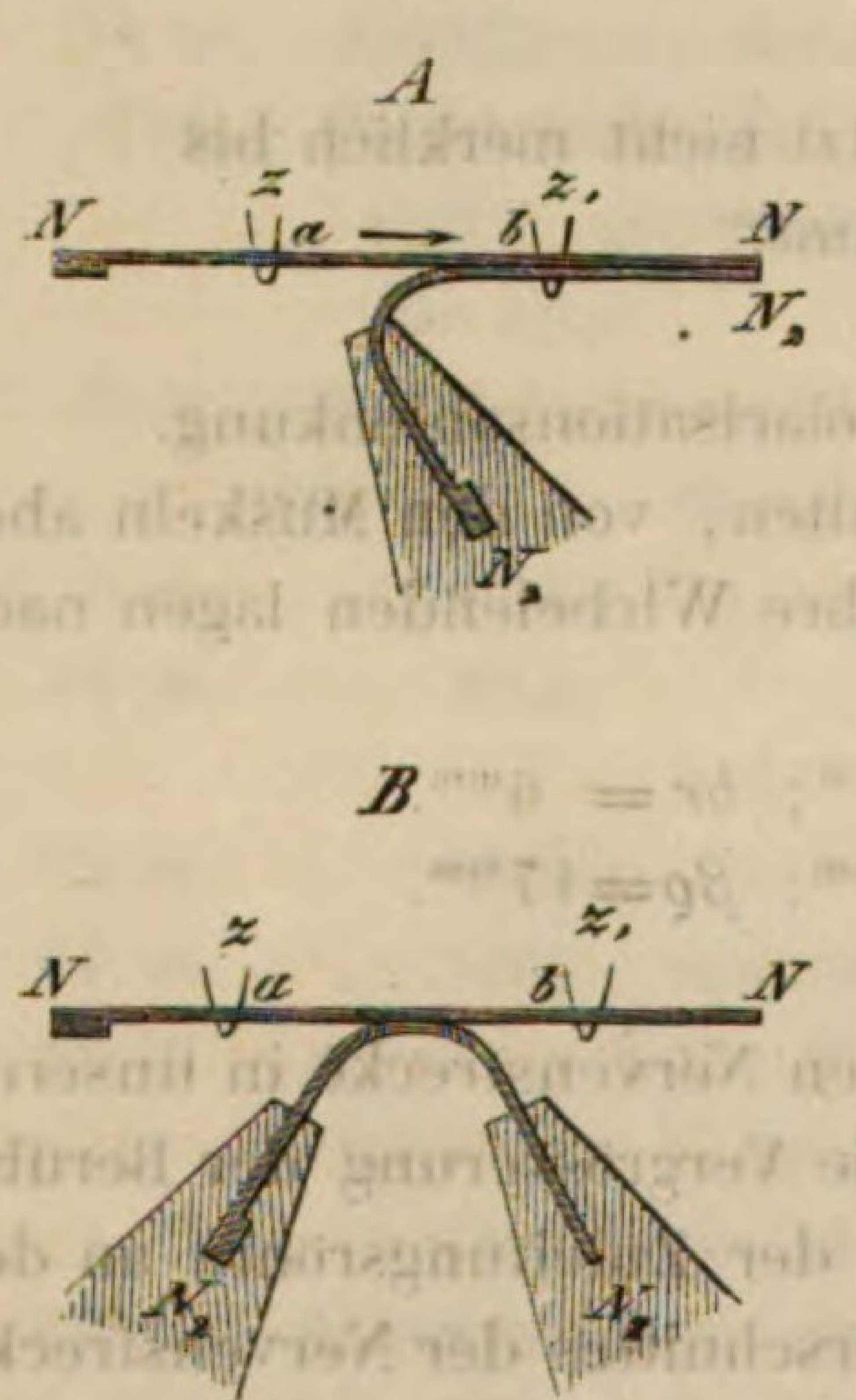


Fig. 14.

Als dritten Nerven benutzen wir den Ischiadicus eines Frosches, der demselben Fange angehört, seit dem Fange unter denselben Umständen aufbewahrt und von derselben Grösse ist wie der Frosch, welchem die ersten beiden Nerven entnommen sind: die drei zur Verwendung kommenden Nerven werden rasch nach einander präparirt. Ist nun auf die angegebene Weise der Querschnitt der 8^{mm} langen Nervenstrecke *ab* auf noch nicht ein Drittheil ihrer Länge von der negativen Zuleitungsröhre an verdoppelt, so ist nach der Schliessung der Kette Φ etwa $= {}^7/_8 - {}^6/_7$ und nimmt während der 6—8—10 *m.* langen Durchströmung ab (s. Vers. 53.). Die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke

unter dem Einflusse des Stromes nimmt also an Steilheit in ihrem Verlaufe mit dem Wachsen des Querschnittes der durchströmten Nervenstrecke ab.

Man könnte an diesem Ergebnisse irre werden, wenn man die Verdoppelung des Querschnittes weiter treibt, als es eben geschehen ist. So lange zwar die Verdoppelung nur wenig mehr als ein Drittheil von *ab* betrifft und Φ unmittelbar nach der Schliessung der Kette höchstens $= {}^5/_6$ ist, bleibt bei der Durchströmung Φ constant oder nimmt nur sehr unbedeutend zu. Liegt aber der dritte Nerv dem anderen bis zur Hälfte von *ab* oder gar noch darüber hinaus an, so nimmt Φ bei der Durchströmung beträchtlicher zu, und die Zunahme ist, wenn Φ unmittelbar nach der Schliessung der Kette $= {}^2/_3$ ist, ganz ansehnlich: so dass hier die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes mit der Zunahme des Querschnittes der durchströmten Nervenstrecke in ihrem Verlaufe steiler zu werden scheint. Indessen überzeugt man sich leicht, dass nicht in der Querschnittsvergrösserung der der positiven Zuleitungsröhre näher gelegenen Stellen von *ab* an und für sich die Ursache jener Zunahme gelegen ist. Ob der dritte Nerv bei den vorstehenden Versuchen dem anderen Nerven noch ausserhalb *ab* jenseits der negativen Thonspitze mehr oder weniger weit anliegt, ja, wie lang er überhaupt noch jenseits der negativen Thonspitze ist, bedingt in den Ergebnissen der Versuche keine merklichen Verschiedenheiten. Legt man nun den dritten Nerven N_2 an den anderen so an, wie es Fig. 14 *B.* zeigt, so dass nämlich N_2 der positiven Thonspitze mehr genähert ist als in den bisherigen Versuchen und dafür ebensowenig, wie diese Thonspitze, die negative Thonspitze berührt, so nimmt Φ, wenn die Anlagerung auf ein Drittheil bis etwa auf die Hälfte von *ab* sich erstreckt, von seinem anfänglichen Werthe ${}^7/_8$—${}^5/_7$ bei der Durchströmung ab (s. Vers. 54.), und erst wenn die Anlagerung bis auf zwei Drittheile und mehr von *ab* ausgedehnt ist, nimmt Φ von seinem anfänglichen Werthe, der etwa ${}^3/_4$ ist, wenn auch nicht beträchtlich, zu. Danach ist die Zunahme von Φ bei der Durchströmung eine Folge nicht unmittelbar der Querschnittsvergrösserung, sondern vielmehr der Länge, auf welche hin die Verdoppelung des Querschnittes *ab* betrifft, und es wird auf Grund der Ermittelungen des § 3. an einer anderen Stelle die Erklärung hierfür sich geben lassen.

Die erkannte Abhängigkeit der Widerstandszunahme der durchströmten Nervenstrecke von dem Querschnitte derselben lässt noch auf eine andere Weise sich darthun. An den Thonspitzen unserer Zuleitungsröhren hatten wir nach der oben S. 41. gemachten Angabe bisher immer ziemlich stumpfe — und zwar an beiden Thonspitzen resp. in den letzten Versuchen an den vier Thonspitzen gleich stumpfe — vordere Kanten von etwa ${}^1/_2$—

$^3/_4$ mm Breite hergestellt, und Thonspitzen mit solchen Kanten (: gewöhnliche Thonspitzen wollen wir sie kurz nennen :) werden auch weiterhin überall da vorauszusetzen sein, wo nicht besondere Angaben sich finden werden. Jetzt wiederholen wir unsere Oppositions-Vorversuche, nachdem wir an der Thonspitze der negativen Zuleitungsröhre ζ eine scharfe Kante hergestellt, alles Andere aber unverändert gelassen haben: der Querschnitt von $\alpha\beta$ ist dadurch, da ja $\alpha\beta$ nicht linear den Strom leitet, in der Stromaustrittsgegend verkleinert. Von der Schärfe der Thonkante ist es alsdann abhängig, wieviel Φ unmittelbar nach der Schliessung der Kette kleiner als 1 ist, und bei der Durchströmung sieht man es abnehmen. Macht man die Kante der negativen Zuleitungsröhre ζ, statt scharf, umgekehrt sehr stumpf, so dass der Querschnitt von $\alpha\beta$ in der Stromaustrittsgegend vergrössert ist, so ist auch das Verhalten von Φ gerade das umgekehrte: unmittelbar nach der Schliessung der Kette ist Φ grösser als 1, und bei der Durchströmung nimmt es noch zu. (S. Vers. 55. u. 56.)

Die Ungleichheit der beiden Paare von Zuleitungsröhren, welche in den letzten Versuchen absichtlich herbeigeführt worden ist, könnte die Frage entstehen lassen, ob die Verschiedenheiten, welche in den Widerstandsveränderungen unter dem Einflusse des Stromes zwischen z, z_1 und ab einerseits und ζ, ζ_1 und $\alpha\beta$ andererseits zur Beobachtung kamen, mit Recht auch bei diesen Versuchen ohne Weiteres als Verschiedenheiten zwischen ab und $\alpha\beta$ genommen worden sind. In dieser Hinsicht giebt aber die Untersuchung der Formveränderungen von ab und $\alpha\beta$ sichere Aufschlüsse. Wegen der nur kurzen Dauer der Durchströmung ist allerdings bei a und α eine Folge der Durchströmung gar nicht zu bemerken, und bei b und β ist die Verengung des Nerven im Ganzen immer nur wenig ausgebildet: doch ist stets, wenn die Thonkante von ζ scharf gemacht war, die Verengung bei β auffallend grösser als bei b, und wenn die Thonkante von β sehr stumpf gemacht war, die Verengung bei b deutlich, während die bei β in der Regel nur undeutlich ist. Danach sind, wenn man noch hinzunimmt, wie gering nur der Widerstand der Zuleitungsröhren in ihrer ursprünglichen Form dem Widerstande der Nervenstrecke gegenüber ist, die zuletzt beobachteten Verschiedenheiten der Widerstandsveränderungen im Wesentlichen jedenfalls auf Rechnung der durchströmten Nervenstrecken zu bringen.

Versuch 53.

K: 1 Daniell.

1 *h*. 9 *m*. Zwei (mittelgrosse) Ran. esc. von gleicher Grösse ††.

16 *m*. Beide Ischiadici des ersten Frosches so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass a und α und wiederum b und β die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind.

1 *h.* 18 *m.* Vom zweiten Frosche wird ein Ischiadicus neben den Nerven *N* so gelegt, dass er von dessen rechtem Ende an bis auf noch nicht ein Drittheil von *ab* mit *N* zusammen verläuft, dann aber abbiegt und mit seinem Wirbelende auf einer Glasplatte isolirt ruht (s. Fig. 14 *A*).

25 *m.* *K* geschlossen. Stromeintritt bei *a* und α.

15″. 700. Φ nimmt ab.

26 *m.* 698.

28 *m.* 695.

30 *m.* 692.

32 *m.* 689,5.

34 *m.* 685. Jetzt wird N_2 in seiner ganzen Länge neben *N* gelegt. (s. u. S. 190.)

c. 30″. 492. Φ nimmt ab.

35 *m.* 487.

37 *m.* 479,5.

40 *m.* 469. *K* geöffnet.

Der Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. Ihre Wirbelenden lagen nach links, ihre Muskelenden nach rechts. *ab* und $\alpha\beta = 8^{mm}$; *ao* und $\alpha o = 5^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 36^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 12^{mm}$.

Versuch 54.

K: 1 Daniell.

10 *h.* 27 *m.* Mittelgrosse Ran. esc. ††.

34 *m.* Beide Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass *a* und α und wiederum *b* und β die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind.

35 *m.* Von einer 10 *h.* 2 *m.* †† etwa gleich grossen Rana esc. wird ein Ischiadicus an den Nerven *N* so angelagert, dass er *ab* auf c. $^1/_3$ der Länge berührt, von *z* wie von z_1 aber entfernt bleibt (s. Fig. 14 *B*). Das Muskel- und das Wirbelende des dritten Nerven sind auf Glasplatten isolirt.

40 *m.* *K* geschlossen. Stromeintritt bei *b* und β.

15″. 694. Φ verändert sich nicht merklich bis

42 *m.* und nimmt dann ab.

45 *m.* 690.

49 *m.* 686.

Jetzt wird der dritte Nerv dem Nerven *N* auf eine längere Strecke angelagert: der erste Berührungspunkt beider Nerven rechts bleibt erhalten, der letzte Berührungspunkt der-

selben links liegt jetzt aber ganz nahe der negativen Thonspitze.

10 *h.* 50 *m.* 624. *Φ* nimmt sehr langsam ab.

Darauf wird die Anlagerung des dritten Nerven an den Nerven *N* wieder auf ohngefähr die ursprüngliche Länge zurückgeführt.

54 *m.* 655. *Φ* nimmt langsam ab. *K* geöffnet.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. Ihre Wirbelenden lagen nach rechts, ihre Muskelenden nach links. *ab* und $\alpha\beta = 8^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 14^{mm}$; *bo* und $\beta o = 6^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 38^{mm}$.

Versuch 55.

K: 4 Daniell's.

z, z_1 und ζ_1 haben gewöhnliche Thonspitzen; die vordere Kante der Thonspitze von ζ ist scharf gemacht.

9 *h.* 0 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ††.

6 *m.* Beide Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass *b* und *β* die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind.

10 *m.* *K* geschlossen. Stromeintritt bei *b* und *β*.

15″. 650. *Φ* nimmt ab.

11 *m.* 638.

12 *m.* 620.

13 *m.* 600.

14 *m.* 575.

16 *m.* 530. *K* geöffnet. — $2\frac{1}{2}^{sc}$ Polarisationsablenkung.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. Ihre Wirbelenden lagen nach rechts, ihre Muskelenden nach links. *ab* und $\alpha\beta = 10^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 9^{mm}$; *bo* und $\beta o = 4^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 34^{mm}$.

Versuch 56.

K: 4 Daniell's.

z, z_1 und ζ_1 haben gewöhnliche Thonspitzen; die vordere Kante der Thonspitze von ζ ist sehr scharf gemacht.

2 *h.* 7 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ††.

13 *m.* Beide Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass *b* und *β* die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind.

20 *m.* *K* geschlossen. Stromeintritt bei b und *β*.

15″. 597. *Φ* nimmt ab.

21 *m.* 589.

2*h*. 22 *m*.		582.	
23 *m*.		578.	
24 *m*.		576.	
25 *m*.		572,5.	
27 *m*.		568.	
28 *m*.		566.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *a* und *α*.
	5″.	566.	*Φ* nimmt ab.
	30″.	554.	
29 *m*.		552.	Jetzt nimmt *Φ* zu.
30 *m*.		556.	
31 *m*.		560.	
32 *m*.		562.	
34 *m*.		562,5.	So bleibt *Φ* bis
36 *m*.			und nimmt dann ab.
38 *m*.		561,5.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *b* und *β*.
	15″.	567.	*Φ* nimmt zu.
39 *m*.		573.	Jetzt nimmt *Φ* ab.
40 *m*.		572,5.	
41 *m*.		571.	
43 *m*.		567,5.	
45 *m*.		565.	
48 *m*.		559,5.	*K* geöffnet. Keine Polarisationsablenkung.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. Die Wirbelenden lagen nach links, die Muskelenden nach rechts. ab und $\alpha\beta = 7^{mm}$; ao und $\alpha o = 4^{mm}$; al und $\alpha\lambda = 37^{mm}$; br und $\beta\varrho = 16^{mm}$.

Versuch 57.

K: 4 Daniell's.

z, z_1 und ζ_1 haben gewöhnliche Thonspitzen; die vordere Kante der Thonspitze von ζ ist scharf gemacht. — Der Abstand von z und z_1 einerseits und von ζ und ζ_1 andererseits ist verschieden genommen.

10*h*. 27 *m*.			Grosse Rana esc. ††.
34 *m*.			Beide Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass *b* und *β* die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind.
40 *m*.			*K* geschlossen. Stromeintritt bei *b* und *β*.
	15″.	788.	*Φ* nimmt zu.
41 *m*.		802.	

10 *h.*	42 *m.*	812.	
	43 *m.*	819.	
	45 *m.*	836.	
	47 *m.*	862.	*K'* geöffnet. — 1^{sc} Polarisationsablenkung.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. Ihre Wirbelenden lagen nach rechts, ihre Muskelenden nach links.

$ab = 18^{mm}$; $al = 10^{mm}$; $bo = 4^{mm}$; $br = 38^{mm}$.

$\alpha\beta = 10^{mm}$; $\alpha\lambda = 17^{mm}$; $\beta o = 4^{mm}$; $\beta\varrho = 38^{mm}$.

Durch die Verlängerung von *ab*, im Falle die Thonkante von ζ scharf gemacht ist, oder durch die Verkürzung von *ab*, wenn dieselbe Thonkante sehr stumpf ist, lässt sich der Einfluss des Querschnittes der durchströmten Nervenstrecke durch den Einfluss der Länge derselben zugleich für den anfänglichen Widerstand und für die Widerstandsveränderungen bei der Durchströmung compensiren oder gar übercompensiren (s. Vers. 57.). Und in dieser Richtung lassen sich noch manche andere Versuche ersinnen, welche gerade solche Ergebnisse liefern, wie sie nunmehr vorauszusehen sind. Wir gehen aber nicht des Weiteren auf diese Versuche ein, weil auch sie wegen der Unmöglichkeit, eine Längenveränderung der durchströmten Nervenstrecke ohne gleichzeitige Querschnittsveränderung derselben eintreten zu lassen, zu genaueren Ermittelungen über den Einfluss der Länge und des Querschnittes nicht führen: wir wollen vielmehr jetzt die vorgewonnenen Ergebnisse weiter zu verwerthen suchen.

(4). Von dem Einflusse der Länge und des Querschnittes auf die stellenweise Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit.

Da die in der durchströmten Nervenstrecke entwickelte Wärmemenge und die Menge der in ihr abgeschiedenen Ionen — bei gleicher Stromintensität — der Länge der Nervenstrecke proportional sind, ist aus unserer Erfahrung, dass die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes mit der Länge der durchströmten Nervenstrecke an Steilheit in ihrem Verlaufe gewinnt, sofort zu folgern, dass die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit und daher auch die Verarmung selbst mit der Länge der durchströmten Nervenstrecke wachsen. Und ebenso einfach ist, wenn man in den Schlüssen nicht weiter geht, die Sachlage beim Querschnitte. Da nämlich — bei gleicher Stromintensität — die in der durchströmten Nervenstrecke entwickelte Wärmemenge dem Querschnitte der Nervenstrecke umgekehrt proportional ist und die Menge der in der Nervenstrecke abgeschiedenen Ionen mit dem Querschnitte der Nervenstrecke

sich nicht verändert, lehrt unsere Erfahrung, dass die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes mit dem Wachsen des Querschnittes der durchströmten Nervenstrecke an Steilheit in ihrem Verlaufe verliert, wiederum unmittelbar, dass die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit und daher auch die Verarmung selbst mit dem Wachsen des Querschnittes der durchströmten Nervenstrecke abnehmen.

Beide Ergebnisse werden denn auch durch die Formveränderungen der durchströmten Nerven bestätigt, wenn man diese bei den voraufgegangenen Versuchen untersucht. Für den Fall der Querschnittsverschiedenheit sind die Befunde an den Nerven bereits vorhin hingestellt worden; und wir haben hier nur noch anzumerken, dass, wo in den Versuchen der Nervenstrecke von grösserer Länge die steilere Widerstandszunahme entsprochen hatte, auch die Verengung des Nerven in der Stromeintrittsgegend beträchtlicher gefunden wurde als bei dem anderen Nerven, welchem die kürzere durchströmte Nervenstrecke angehört hatte.

§ 3. Von dem besonderen Einflusse der Grösse der Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der positiven Zuleitungsröhre.

Die Ergebnisse des vorigen § lassen dahin sich zusammenfassen, dass die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes und die stellenweise Verarmung der Nervenstrecke an Flüssigkeit unter sonst gleichen Umständen und besonders bei gleichem specifischen Widerstande der Nervenstrecke mit dem absoluten Widerstande der Nervenstrecke wachsen. Dieser Erfahrung entsprechen auch die Ergebnisse aller Oppositionsversuche, in welchen nicht beabsichtigt, wie im vorigen §, sondern von ohngefähr eine Verschiedenheit in der Länge oder in dem Querschnitte der beiden Nervenstrecken oder in der Länge und dem Querschnitte derselben zugleich vorliegt: immer nimmt Φ zu, wenn es unmittelbar nach der Schliessung der Kette wesentlich grösser, dagegen ab, wenn es unmittelbar nach der Schliessung der Kette wesentlich kleiner als 1 gewesen war. Nur muss, wie in den Versuchen, in welchen wir vorhin die Länge und den Querschnitt variirten, die Bedingung erfüllt sein, dass die Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der positiven Thonspitze bei beiden Nerven von gleicher Grösse ist. Ist dies nicht der Fall, so fügt sich die Wirkung der Grösse dieser Berührungsfläche zu der Wirkung des Widerstandes algebraisch hinzu und ist unter Umständen im Stande, die letztere Wirkung ganz zu verdecken.

Der besondere Einfluss der Grösse der Berührungsfläche zwischen der positiven Zuleitungsröhre und dem Nerven lässt sich, ohne dass man das

Verfahren der Opposition zu Hülfe nimmt, mittelst der Versuchsanordnung Fig. 1. in folgender Weise vorführen. An Nerven, welche gleich grossen und gleich munteren Fröschen von demselben Fange entnommen werden, stellt man bei einem Daniell in der ungespaltenen Strecke des Stromnetzes und bei unveränderter Versuchsanordnung eine ganze Reihe von Versuchen rasch nach einander so an, dass man die Länge der durchströmten Nervenstrecke und die den Zuleitungsröhren aufliegenden Nervenstellen in allen Versuchen möglichst gleich hält, die vordere Kante einer der beiden Thonspitzen aber von einem Versuche zum anderen umformt. Während die gewöhnliche Thonspitze der einen Zuleitungsröhre unverändert erhalten bleibt, giebt man an der Thonspitze der anderen Zuleitungsröhre der vorderen Kante in der Weise eine verschiedene Gestalt, dass sie bei dem ersten Versuche in gewöhnlicher Weise stumpf, bei dem zweiten Versuche scharf, bei dem dritten Versuche wiederum in gewöhnlicher Weise stumpf, bei dem vierten Versuche viel stumpfer als gewöhnlich, bei dem fünften Versuche nochmals in gewöhnlicher Weise stumpf, bei dem sechsten Versuche wieder scharf u. s. w. ist. Wenn alsdann durch die Versuchsreihe hindurch die Zuleitungsröhre mit der veränderlichen Thonspitze den Strom vom Nerven fortführt, erscheint die Form der vorderen Kante ihrer Thonspitze ohne erhebliche Bedeutung für die Widerstandszunahme der Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes, indem die verschiedenen Versuche nicht mehr und nicht regelmässiger von einander abweichen, als es bei einer eben solchen Versuchsreihe mit zwei gleichen und zwar in gewöhnlicher Weise stumpfen Thonspitzenkanten der Fall ist. Anders aber, wenn durch die Versuchsreihe hindurch die Zuleitungsröhre mit der veränderlichen Thonspitze den Strom dem Nerven zuführt. Die Widerstandszunahme der Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes nimmt hier ganz regelmässig, wenn die veränderliche Thonspitzenkante scharf ist, einen wesentlich steileren, und wenn dieselbe stumpfer als gewöhnlich ist, einen wesentlich weniger steilen Verlauf als in den Fällen, wo diese Kante in gewöhnlicher Weise stumpf ist. Und wenn die veränderliche Thonspitzenkante sehr stumpf ist, geht der sehr langsamen Widerstandszunahme eine beträchtliche Widerstandsabnahme von längerer Dauer vorauf.

Allerdings haben in den Versuchen mit der Form der veränderlichen Thonspitzenkante zugleich der Querschnitt der intrapolaren Nervenstrecke und die Intensität des die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes sich verändert. Allein ganz abgesehen davon, dass die Widerstandszunahme da einen steileren Verlauf genommen hat, wo die Stromintensität kleiner war, geht die Bedeutungslosigkeit der eben genannten Veränderungen für die constatirten Veränderungen des Verlaufes der Widerstandszunahme sicher daraus hervor, dass die letzteren Veränderungen nur da aufgetreten sind,

wo die Umformung der Thonspitzenkante die positive, nicht aber, wo sie die negative Zuleitungsröhre betraf. Gerade hierdurch wird es zweifellos, dass der Grösse der Berührungsfläche zwischen der positiven Zuleitungsröhre und dem Nerven ein besonderer Einfluss auf die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke unter der Einwirkung des Stromes zukommt und zwar in der Weise, dass mit dem Kleinerwerden jener Berührungsfläche die Widerstandszunahme an Steilheit in ihrem Verlaufe gewinnt. Und da ein solcher besonderer Einfluss auf die Erwärmung und die Elektrolyse der Nervenstrecke sich nicht geltend macht, ist sofort weiter zu schliessen, dass die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit und demgemäss auch die Verarmung selbst wachsen mit der Verkleinerung der Berührungsfläche zwischen der positiven Zuleitungsröhre und dem Nerven.

Statt, wie vorhin, ganze Reihen von Versuchen anzustellen, kann man auch so verfahren, dass man bei der Versuchsanordnung Fig. 1. der einen Zuleitungsröhre eine gewöhnliche Thonspitze giebt, die Thonspitze der anderen Zuleitungsröhre aber mit einer scharfen vorderen Kante versieht und in den in gewohnter Weise aufgelagerten Nerven den Strom zuerst an der stumpferen Thonspitzenkante und nach einiger Zeit durch Umlegen der Wippe *B* an der scharfen Thonspitzenkante eintreten lässt. Nach allen unseren bisherigen Erfahrungen sollte der Widerstand der Nervenstrecke nach dem Wechsel der Stromrichtung zuerst eine Zeit lang abnehmen und dann zunehmen, und die Zunahme sollte im Ganzen beträchtlich langsamer als vor der Umkehrung der Stromrichtung erfolgen. Statt dessen kommt hier aber kaum eine Abnahme oder jedenfalls nur eine sehr kurze Abnahme des Widerstandes zur Beobachtung, und ihr folgt eine Zunahme des Widerstandes, die viel steiler ist als die Zunahme vor der Umkehrung (Vers. 58.). In nichts Anderem kann diese Abweichung von dem gewohnten Verhalten des Widerstandes ihren Grund haben als darin, dass die Verlangsamung der neuen Widerstandszunahme in Folge der Verarmung, welche durch die Abnahme des specifischen Widerstandes der Nervenflüssigkeit bedingt ist, in dem vorliegenden Falle übercompensirt ist durch die Beschleunigung, welche dieselbe Widerstandszunahme in Folge der geringeren Grösse der Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der Zuleitungsröhre an der neuen Stromeintrittsstelle erfährt.

Befolgt man für den Nerven des zweiten Schenkels desselben Frosches den umgekehrten Gang, indem man in die genau wie vorher aufgelagerte Nervenstrecke den Strom zuerst an der scharfen und später an der stumpferen Thonspitzenkante eintreten lässt, so ist die anfängliche Widerstandszunahme der Nervenstrecke viel steiler als im ersten Versuche, und nach dem Wechsel der Stromrichtung tritt nicht nur eine lange dauernde und

beträchtliche Abnahme des Widerstandes ein, sondern auch die dieser Abnahme nachfolgende Zunahme des Widerstandes ist hier viel weniger steil als vor der Umkehrung (Vers. 59.). Und wiederholt man darauf, um ganz sicher zu gehen, an einem anderen Frosche die beiden letzten Versuche mit der Modification, dass man, was wir eben am Nerven des zweiten Schenkels durchführten, am Nerven des ersten Schenkels und umgekehrt ausführt, so bleiben die wesentlichen Ergebnisse unserer Versuche durchaus die nämlichen.

Uebrigens kann man bei dem in Rede stehenden Versuchsverfahren die vordere Kante derjenigen Thonspitze, welche nicht in gewöhnlicher Weise stumpf bleiben soll, statt scharf, auch sehr stumpf machen: so dass der gewöhnlichen Thonspitze, welche bisher die grössere Berührungsfläche darbot, jetzt die kleinere Berührungsfläche zukommt (Vers. 60.). Man macht alsdann im Princip die nämlichen Erfahrungen wie vorhin, nur dass, wenn der Unterschied in der Stumpfe der beiden Kanten nicht gross ist, die Verschiedenheiten in der Steilheit der Widerstandszunahme vor und nach der Umkehrung der Stromrichtung manchmal weniger eclatant sind. Am auffälligsten sind natürlich diese Verschiedenheiten, wenn man neben einander eine sehr stumpfe und eine scharfe Thonspitzenkante in Anwendung bringt (Vers. 61.).

Wie schon oben (S. 178.) bemerkt worden ist, geht, wenn bei dem Beginne der Durchströmung des Nerven der Strom an einer sehr stumpfen Thonspitzenkante in den Nerven eintritt, der sehr langsamen Widerstandszunahme der Nervenstrecke eine beträchtliche (verzögerte) Widerstandsabnahme von längerer Dauer vorauf. Dieses Verhalten des Widerstandes zu erklären hält nicht schwer, wenn man erwägt, dass die betreffenden Versuche nur durch die Grösse der Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der positiven Zuleitungsröhre von den Versuchen des Kap. II. § 1 (2) abweichen. Indem in Folge der veränderten Berührungsfläche die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der stellenweisen Verarmung hier im Ganzen viel weniger steil verläuft als dort, während der Verlauf sowohl der Widerstandsabnahme in Folge der Erwärmung wie der Widerstandsabnahme in Folge der Elektrolyse gar nicht oder doch verhältnissmässig nur unbedeutend verschieden ist, muss, wie ein Blick auf Fig. 5. lehrt, hier während der ersten Zeit nach der Schliessung der Kette die Widerstandsabnahme in Folge der Erwärmung und in Folge der Elektrolyse den Sieg über die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung davontragen und erst später die letztere die Oberhand gewinnen. Umgekehrt muss offenbar, wenn die Thonspitzenkante an der Stromeintrittsstelle scharf ist, wegen des hier im Ganzen viel steileren Verlaufes der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung als in den Versuchen des Kap. II.

§ 1 (2), der Sieg dieser Widerstandszunahme vom Beginne der Durchströmung an viel ausgesprochener sein, so dass die anfängliche Beschleunigung der Widerstandszunahme unter dem Einflusse des Stromes leicht der Beobachtung sich entziehen kann.

Versuch 58.

(Versuchsanordnung Fig. 1.)

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — z_1 hat eine gewöhnliche Thonspitze; die vordere Kante der Thonspitze von *z* ist scharf gemacht.

1 *h*.	12 *m*.			Mittelgrosse Rana esc. ††.
	17 *m*.			Ischiadicus auf die Zuleitungsröhren gelegt.
	22 *m*.			*K* geschlossen. Stromeintritt bei *b*.
		15″.	890.	Der Widerstand nimmt ab.
	23 *m*.		883.	
	24 *m*.		882.	Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
	25 *m*.			und nimmt dann zu.
	26 *m*.		883.	
	27 *m*.		885.	
	29 *m*.		889.	
	30 *m*.		892.	
	32 *m*.		898.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *a*.
		10″.	890.	Der Widerst. verändert sich nicht merklich bis
		15″.		und nimmt dann zu.
	33 *m*.		902.	
	34 *m*.		911.	
	35 *m*.		917.	
	36 *m*.		923.	
	37 *m*.		928.	
	38 *m*.		933.	
	40 *m*.		941.	
	42 *m*.		947,5.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *b*.
		15″.	939.	Der Widerstand nimmt ab.
	43 *m*.		933.	
	44 *m*.		928.	
	45 *m*.		924.	
	47 *m*.		921,5.	
	48 *m*.		921.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	49 *m*.		923.	
	50 *m*.		926.	

1 *h.*	52 *m.*		932.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *a*.
		15″.	917.	Der Widerstand nimmt ab.
		30″.	916.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	53 *m.*		920.	
	54 *m.*		925.	
	55 *m.*		932.	
	56 *m.*		937.	
	58 *m.*		946.	
2 *h.*	0 *m.*		957.	— *K* geöffnet. 1*sc* Polarisationsablenkung.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen.

$ab = 7^{mm}$; $am = 16^{mm}$; $bo = 5^{mm}$; $bw = 38^{mm}$.

Der Nerv ist nach Beendigung des Versuches noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Versuch 59.

Alles wie beim vorigen Versuche.

2 *h.*	13 *m.*			Vom zweiten Schenkel des 1 *h.* 12 *m.* †† Frosches, der bisher enthäutet im feuchten Raume aufbewahrt worden ist, Ischiadicus auf die Zuleitungsröhren gelegt.
	16 *m.*			*K* geschlossen. Stromeintritt bei *a*.
		15″.	975.	Der Widerstand nimmt zu.
	17 *m.*		1015.	
	18 *m.*		1060.	
	19 *m.*		1100.	
	20 *m.*		1140.	
	21 *m.*		1165.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *b*.
		10″.	1115.	Der Widerstand nimmt ab.
	22 *m.*		1050.	
	23 *m.*		1005.	
	24 *m.*		975.	
	25 *m.*		957.	
	26 *m.*		943.	
	28 *m.*		920.	
	30 *m.*		905.	
	32 *m.*		891.	
	34 *m.*		876.	

2*h*. 36 *m*. 867. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *a*.
15″. 862. Der Widerstand nimmt zu.
37 *m*. 878.
38 *m*. 892.
39 *m*. 910.
40 *m*. 925.
41 *m*. 939. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *b*.
10″. 935. Der Widerstand nimmt ab.
42 *m*. 916.
43 *m*. 901.
44 *m*. 891.
46 *m*. 878.
48 *m*. 869.
52 *m*. 856. — *K* geöffnet. 1^{sc} Polarisationsablenkung.

Der Ischiadicus war in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen.

$ab = 7^{mm}$; $am = 15^{mm}$; $bo = 5^{mm}$; $bw = 38^{mm}$.

Der Nerv ist nach Beendigung des Versuches noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Versuch 60.

(Versuchsanordnung Fig. 1.)

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — *z* hat eine gewöhnliche Thonspitze, die Thonspitzenkante von z_1 ist sehr stumpf.

11 *h*. 29 *m*. Mittelgrosse Rana esc. ††.
12 *h*. 30 *m*. Vom zweiten Schenkel, der bisher enthäutet im feuchten Raume aufbewahrt worden ist, Ischiadicus auf die Zuleitungsröhren gelegt.
35 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *b*.
15″. 744. Der Widerstand nimmt ab.
36 *m*. 740.
37 *m*. 737.
38 *m*. 734.
39 *m*. 731,5.
41 *m*. 726,5.
43 *m*. 724.
47 *m*. 719. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *a*.

12 *h*.	47 *m*.	10″.	717.	Der Widerstand nimmt zu.
	48 *m*.		720.	
	49 *m*.		724.	
	50 *m*.		729.	
	52 *m*.		734,5.	
	54 *m*.		739,5.	
	59 *m*.		754.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *b*.
		15″.	750.	Der Widerstand nimmt ab.
1 *h*.	0 *m*.		736.	
	1 *m*.		727.	
	3 *m*.		720.	
	5 *m*.		716.	
	7 *m*.		712.	
	11 *m*.		709,5.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *a*.
		15″.	711.	Der Widerstand nimmt zu.
	12 *m*.		715.	
	13 *m*.		719.	
	15 *m*.		727.	
	17 *m*.		733.	
	19 *m*.		739.	
	23 *m*.		748.	— *K* geöffnet. $\frac{1}{2}^{sc}$ Polarisationsablenkung.

Der Ischiadicus war in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen.

$ab = 6{,}5^{mm}$; $am = 12^{mm}$; $bo = 7^{mm}$; $bw = 36^{mm}$. Der rechten Thonspitzenkante lag der Nerv in der Länge von 3^{mm} auf.

Nach Beendigung des Versuches ist der Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Versuch 61.

(Versuchsanordnung Fig. 1.)

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — Die vordere Kante der Thonspitze von z ist scharf, die Thonspitzenkante von z_1 ist stumpfer als gewöhnlich.

11 *h*.	16 *m*.	Grosse Rana esc. ††.
12 *h*.	21 *m*.	Vom zweiten Schenkel, der bisher enthäutet im feuchten Raume aufbewahrt worden ist, Ischiadicus auf die Zuleitungsröhren gelegt.
	26 *m*.	*K* geschlossen. Stromeintritt bei *b*.

12 *h*.	26 *m*.	20″.	1050.	Der Widerstand nimmt ab.
	27 *m*.		1030.	
	28 *m*.		1010.	
	29 *m*.		1001.	
	31 *m*.		993.	
	33 *m*.		989.	Der Widerstand verändert sich nicht merklich bis
	34 *m*.			und nimmt dann zu.
	36 *m*.		990.	
	38 *m*.		993.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *a*.
		10″.	980.	Der Widerstand nimmt zu.
		30″.	1010.	
	39 *m*.		1035.	
	40 *m*.		1100.	
	42 *m*.		1190.	
	44 *m*.		1240.	
	46 *m*.		1268.	
	48 *m*.		1288.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *b*.
		15″.	1210.	Der Widerstand nimmt ab.
	49 *m*.		1125.	
	50 *m*.		1070.	
	51 *m*.		1040.	
	52 *m*.		1024.	
	54 *m*.		1013.	Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
	56 *m*.			und nimmt dann zu.
	58 *m*.		1016.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *a*.
		10″.	1013.	Der Widerstand nimmt zu.
		30″.	1021.	
	59 *m*.		1035.	
1 *h*.	0 *m*.		1070.	
	1 *m*.		1105.	
	2 *m*.		1145.	— *K* geöffnet. $\frac{1}{2}^{sc}$ Polarisationsablenkung.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen.

$ab = 8^{mm}$; $am = 18^{mm}$; $bo = 4^{mm}$; $bw = 40^{mm}$.

Der Nerv ist nach Beendigung des Versuches noch dicht unterhalb der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Eine sehr elegante Methode, den besonderen Einfluss der Grösse der Berührungsfläche zwischen der positiven Zuleitungsröhre und dem Nerven zu constatiren, bietet noch das Oppositionsverfahren. Man wiederholt genau die Oppositions-Vorversuche (S. 163.), nachdem man an den Thonspitzen von z_1 und ζ scharfe und zwar gleich scharfe vordere Kanten hergestellt, die Kanten der Thonspitzen von z und ζ_1 aber unverändert, also in der gewöhnlichen Weise gleich stumpf gelassen hat. Nicht nur ist alsdann die Stromintensität in beiden Nervenstrecken die gleiche, sondern es muss auch der Widerstand (der Zuleitungsröhren und) der intrapolaren Nervenstrecke auf beiden Seiten der nämliche sein: und in der That findet man nach der Schliessung der Kette Φ ohngefähr $= 1$ und in den verschiedenen Versuchen höchstens so unbedeutend, wie in unseren Vorversuchen, von 1 abweichend. Aber bei der 6—10 Minuten langen Durchströmung der Nerven nimmt Φ ausnahmslos zu, wenn der Strom bei b und β, und ausnahmslos ab, wenn der Strom bei a und α in die Nervenstrecken eintritt (Vers. 62. u. 63.). Macht man umgekehrt die Thonspitzenkanten von z_1 und ζ, statt scharf, sehr stumpf, so dass die beiden Nerven diesen Kanten in viel grösserer Länge aufliegen als den unveränderten Kanten von z und ζ_1, so ist nach der Schliessung der Kette Φ wiederum ohngefähr $= 1$; aber bei der Durchströmung wird jetzt Φ ausnahmslos grösser, wenn der Strom bei a und α, und ausnahmslos kleiner, wenn der Strom bei b und β in die beiden Nerven eintritt.

Unmittelbar lehren diese Ergebnisse allerdings nur, dass die Widerstandszunahme der Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes unter sonst gleichen Umständen und besonders bei unverändertem Widerstande der Nervenstrecke desto steiler verläuft, je kleiner die Berührungsfläche zwischen der positiven Zuleitungsröhre und dem Nerven einerseits und je grösser die Berührungsfläche zwischen der negativen Zuleitungsröhre und dem Nerven andererseits ist, ohne dass der einen Berührungsfläche eine grössere Bedeutung als der anderen beigemessen werden dürfte. Indessen haben wir im vorigen § gesehen, dass die Veränderung der Grösse der Berührungsfläche zwischen der negativen Zuleitungsröhre und dem Nerven, mochte sie den Widerstand der durchströmten Nervenstrecke vergrössern oder verkleinern, durch eine Längenänderung der Nervenstrecke, welche deren Widerstand um gleichviel in entgegengesetztem Sinne veränderte, in ihrem Einflusse auf die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke unter der Einwirkung des Stromes sich compensiren liess. Danach darf der Grösse dieser Berührungsfläche ein anderer Einfluss auf den Verlauf der Widerstandszunahme der durchströmten Nervenstrecke, als er dem von der Grösse dieser Berührungsfläche abhängigen Querschnitte und Widerstande der Nervenstrecke zukommt, nicht zugeschrieben wer-

den; und der besondere Einfluss der Grösse der Berührungsfläche zwischen der positiven Zuleitungsröhre und dem Nerven ist, wie im Eingange dieses § mittelst der Versuchsanordnung Fig. 1., so nunmehr auch mittelst des Oppositionsverfahrens selbstständig nachgewiesen.

Zu völliger Sicherheit wollen wir es aber doch nicht unterlassen, auch noch für die Veränderung der Berührungsfläche zwischen der positiven Zuleitungsröhre und dem Nerven die Compensation zu versuchen. Wir wiederholen dazu genau unsere Oppositions-Vorversuche, nachdem wir an der Thonspitze der positiven Zuleitungsröhre z_1 eine scharfe Kante hergestellt und den Abstand von ζ und ζ_1 so viel grösser als den von z und z_1 genommen haben, dass, wenn b und β die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind, beim Beginne der Durchströmung w_{ab} ohngefähr $= w_{\alpha\beta}$ ist. Setzt sich nun wirklich die Bedeutung der Berührungsfläche zwischen der positiven Zuleitungsröhre und dem Nerven für die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes aus der Bedeutung des Querschnittes der Nervenstrecke und aus der besonderen Bedeutung der Berührungsfläche für eben diese Widerstandsveränderungen zusammen, so muss in unseren Versuchen, trotz der Compensation des verschiedenen Querschnittes der Nervenstrecken durch ihre verschiedene Länge, doch noch der besondere Einfluss der Grösse der positiven Berührungsfläche sich geltend machen. Dies ist in der That bei den Versuchen der Fall: ist auch unmittelbar nach der Schliessung der Kette Φ ohngefähr $= 1$, so nimmt es doch bei der Durchströmung regelmässig noch beträchtlich zu (Vers. 64.).

Versuch 62.

(Versuchsanordnung Fig. 13.)

K: 4 Daniell's. — z und ζ_1 haben gewöhnliche Thonspitzen; die vordere Kante der Thonspitzen von z_1 und ζ ist scharf gemacht.

11 *h.* 12 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ††.

19 *m.* Beide Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass a und α und wiederum b und β die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind.

25 *m.* *K* geschlossen. Stromeintritt bei b und β.

8″. 739. Φ nimmt zu.

26 *m.*	755.
27 *m.*	773.
28 *m.*	786.
29 *m.*	796.
30 *m.*	803.

11 *h*. 31 *m*.		807,5.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *a* und *α*.
	10″.	804.	*Φ* nimmt ab.
32 *m*.		778.	
33 *m*.		750.	
34 *m*.		729.	
35 *m*.		710.	
36 *m*.		697.	
37 *m*.		685.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *b* und *β*. *Φ* nimmt zu.
	30″.	703.	
38 *m*.		720.	
39 *m*.		740.	
40 *m*.		755.	
41 *m*.		770.	
42 *m*.		778.	
43 *m*.		783.	— *K* geöffnet. C. $^3/_4{}^{sc}$ Polarisationsablenkung.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. Ihre Wirbelenden lagen nach links, ihre Muskelenden nach rechts. *ab* und $\alpha\beta = 8^{mm}$; *ao* und $\alpha o = 4^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 36^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 16^{mm}$.

Versuch 63.

Alles wie beim Vers. 62.

11 *h*. 52 *m*.			Mittelgrosse Rana esc. ††.
59 *m*.			Beide Ischiadici aufgelegt.
12 *h*. 5 *m*.			*K* geschlossen. Stromeintritt bei *a* und *α*.
	8″.	725.	*Φ* nimmt ab.
6 *m*.		716.	
7 *m*.		708.	
8 *m*.		698.	
9 *m*.		688.	
11 *m*.		667.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *b* und *β*. *Φ* nimmt zu.
	15″.	700.	
12 *m*.		726.	
13 *m*.		737.	
15 *m*.		751.	

12 *h*. 17 *m*. 768. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *a* und α.
15″. 764. Φ nimmt ab.
18 *m*. 734.
19 *m*. 714.
20 *m*. 700.
21 *m*. 688.
23 *m*. 666. — *K* geöffnet. 2^{sc} Polarisationsablenkung.

ab und $\alpha\beta = 8^{mm}$; *ao* und $\alpha o = 4^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 38^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 14^{mm}$.

Versuch 64.

(Versuchsanordnung Fig. 13.)

K: 1 Daniell. — *z*, ζ und ζ_1 haben gewöhnliche Thonspitzen; die Thonspitzenkante von z_1 ist scharf. — Der Abstand von *z* und z_1 einerseits und von ζ und ζ_1 andererseits ist verschieden genommen.

4 *h*. 18 *m*. Grosse Rana esc. ††.
24 *m*. Beide Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass *b* und β die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind.
28 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *b* und β.
15″. 752. Φ nimmt zu.
29 *m*. 805.
30 *m*. 920.
31 *m*. 966. — *K* geöffnet. 1^{sc} Polarisationsablenkung.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. Ihre Wirbelenden lagen nach rechts, ihre Muskelenden nach links.

$ab = 5^{mm}$; $al = 17^{mm}$; $bo = 6^{mm}$; $br = 42^{mm}$.
$\alpha\beta = 16^{mm}$; $\alpha\lambda = 7^{mm}$; $\beta o = 6^{mm}$; $\beta\varrho = 42^{mm}$.

Versuch 65.

(Versuchsanordnung Fig. 13.)

K: 1 Daniell.

9 *h*. 50 *m*. Zwei (mittelgrosse) Ran. esc. von gleicher Grösse ††.
57 *m*. Beide Ischiadici des ersten Frosches so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass *a* und α und wiederum *b* und β die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind.
59 *m*. Vom zweiten Frosche wird ein Ischiadicus neben den Nerven *N* in dessen ganzer Länge und in ganz gleicher Weise gelegt.
10 *h*. 5 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *a* und α.

10 *h*. 5 *m*. 15″.	505.	Φ verändert sich nicht merklich bis	
6 *m*.		und nimmt dann ab.	
7 *m*.	503.		
9 *m*.	496.		
11 *m*.	493.		
13 *m*.	489.	— *K* geöffnet. 1^{sc} Polarisationsablenkung.	

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. Ihre Wirbelenden lagen nach rechts, ihre Muskelenden nach links. *ab* und $\alpha\beta = 8^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 14^{mm}$; *bo* und $\beta o = 5^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 34^{mm}$.

Weshalb oben im § 2. bei der Untersuchung des Einflusses des Querschnittes der Nervenstrecke die Grössenveränderung des Querschnittes auf den der negativen Zuleitungsröhre nächsten Theil und den mittleren Theil der Nervenstrecke beschränkt worden ist, leuchtet jetzt ohne Weiteres ein: die Verlegung der Grössenveränderung auf den der positiven Zuleitungsröhre nächsten Theil der Nervenstrecke oder ihre Ausdehnung auf den ganzen Nerven (s. Vers. 65.; vgl. auch Vers. 53.) würde nur die Summe der Wirkung des Querschnittes und der Wirkung der positiven Berührungsfläche ergeben haben. Und ebenso ist nunmehr die Erfahrung leicht verständlich, auf welche bereits im Kap. II. mehrfach hingewiesen worden ist: dass nämlich, wenn man bei den Versuchen des Kap. II. § 1 (2) statt eines Nerven mehrere Nerven neben einander auf die Zuleitungsröhren auflagert und, ausser dass man an Stelle des flüssigen Vergleichswiderstandes *Wd* 99 Meilen Telegraphendraht des *Siemens*'schen Rheostaten einschaltet, die Versuchsanordnung Fig. 1. ganz unverändert lässt, im Durchschnitt eine wesentlich kleinere Widerstandszunahme bei der Durchströmung zur Beobachtung kommt. Hier ist offenbar der Einfluss der grösseren Stromintensität durch den Einfluss des grösseren Querschnittes der Nerven und der grösseren Berührungsfläche zwischen den Nerven und der positiven Zuleitungsröhre übercompensirt.

Zum Schlusse mag nicht unerwähnt bleiben, dass, was über die Gestaltsveränderungen des durchströmten Nerven bei der eben durchgeführten Untersuchung zu ermitteln ist, im schönsten Einklange mit unseren obigen Ergebnissen der Untersuchung steht. Sowohl bei den ersten Versuchsreihen dieses § wie bei den Oppositionsversuchen findet man nämlich, wofern nur in den Versuchen die Stromrichtung nicht umgekehrt worden ist, die Verengung des Nerven an der Stromeintrittsstelle regelmässig da, wo die positive Thonspitzenkante scharf war, beträchtlicher, als wo dieselbe Kante in gewöhnlicher Weise stumpf war, und in dem letzteren Falle wiederum beträchtlicher, als wo die Kante sehr stumpf war. Besonders wenn die Durchströmung nur von kurzer Dauer (5—10 Min.) war, ist bei

jenen Versuchen die Bedeutung der Thonspitzenkante an der Stromeintrittsstelle für die Verengung des Nerven an eben dieser Stelle nicht zu verkennen: war die Kante sehr stumpf, so ist die Verengung alsdann nur ganz undeutlich; war die Kante in gewöhnlicher Weise stumpf, so ist die Verengung wohl deutlich, aber noch gering; war endlich die Kante scharf, so ist die Verengung trotz der kurzen Dauer der Durchströmung schon recht beträchtlich. — An der Stromaustrittsstelle des Nerven tritt bei den Versuchen, auch wenn die negative Thonspitzenkante sehr scharf ist, eine Verengung des Nerven nicht ein.

§ 4. Von dem Einflusse der Lebensfähigkeit des Nerven.

Zu unseren bisherigen Oppositionsversuchen hatten wir stets die beiden Ischiadici desselben Frosches als Nerven von gleicher Lebensfähigkeit[1] verwandt, weil die verschiedene Lebensfähigkeit der Nerven verschiedener Thiere in nichts Anderem als in chemischen Verschiedenheiten der Nerven begründet sein kann und deshalb ein Einfluss der Lebensfähigkeit des Nerven auf die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke von vornherein durchaus wahrscheinlich sein musste. Richten wir nunmehr unsere Untersuchung auf diesen Punkt, so finden wir unsere Voraussicht vollkommen bestätigt: die verschiedene chemische Beschaffenheit der verschieden lebensfähigen Nerven spricht sich in dem verschiedenen specifischen Widerstande derselben aus, und von der Lebensfähigkeit oder also dem specifischen Widerstande des Nerven sind wesentlich abhängig die Veränderungen, welche der Widerstand der durchströmten Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes erfährt.

In der Regel schon unter frisch eingefangenen Fröschen, wenn man sie nur in grösserer Zahl beisammen hat, jedenfalls aber unter Fröschen, welche einige Zeit ohne Nahrung aufbewahrt worden sind, fallen, während die meisten bei der Annäherung an den Behälter und zumal bei Erschütterungen desselben munter und lebhaft umherspringen, einzelne durch ihre Apathie und durch die Trägheit in ihren Bewegungen auf. Diese Frösche sind offenbar krank und lassen sich auch in den Töpfen nicht mehr lange lebend erhalten; tödtet man sie, so nimmt man bei der oberflächlichen Untersuchung hin und wieder gar keine besonderen pathologischen Er-

1) Indem wir zuerst die »Lebensfähigkeit« von der »Leistungsfähigkeit«, unter welcher sie bisher mitverstanden worden ist, trennen, wollen wir nicht unterlassen, was eigentlich schon in der gewählten Bezeichnung enthalten ist, noch besonders anzumerken: dass die Lebensfähigkeit der Nerven gegeben ist durch die Zeit, während welcher die Nerven unter genau denselben Verhältnissen nach dem Tode der Thiere oder nach der Trennung der Nerven von den lebenden Gesammtorganismen lebend d. h. zunächst leistungsfähig — fähig, Muskelzuckung herbeizuführen — bleiben.

scheinungen wahr, häufig aber sehen die Muskeln weisslich aus[1], und stets sind die Nerven dieser Frösche den Nerven der munteren Frösche gegenüber von nur geringer Lebensfähigkeit. Ebenso sind die Nerven von Fröschen, welche längere Zeit ohne Nahrung aufbewahrt worden sind, viel weniger lebensfähig als die Nerven frisch eingefangener Frösche, und zwar ist die Lebensfähigkeit jener Nerven desto geringer, je grösser der Stoffwechsel der hungernden Thiere gewesen ist: im Hochsommer hat schon wenige Tage nach dem Einfangen der Frösche die Lebensfähigkeit der Nerven eben so sehr gelitten, wie im Winter, wenn dann nur die Frösche an einem kühlen Orte gehalten wurden, erst nach Monaten. Endlich sind noch von einer ganz auffallend geringen Lebensfähigkeit die Nerven derjenigen Winterfrösche, welche von der Seuche befallen worden sind, deren Zeichen schon *E. du Bois-Reymond* ausführlich angegeben hat[2].

Wir wiederholen nunmehr unsere Oppositions-Vorversuche (S. 163.) mit der einzigen Abänderung, dass wir, statt die beiden Ischiadici desselben Frosches zu verwenden, immer die Ischiadici von zwei gleich grossen, aber in verschiedenem Ernährungs- oder Gesundheitszustande befindlichen Fröschen in Vergleich ziehen. Der eine Frosch sei z. B. frisch eingefangen und munter, der andere aber lange ohne Nahrung aufbewahrt, am besten überwintert; oder beide Frösche seien frisch eingefangen, aber nur der eine ganz munter, der andere dagegen apathisch und krank; oder endlich beide Frösche seien gleich lange gefangen gehaltene Winterfrösche, der eine aber noch munter und gesund, während der andere von der Seuche befallen ist. Ist alsdann der weniger lebensfähige Nerv über z und z_1 gebrückt, so ist stets Φ unmittelbar nach der Schliessung der Kette viel kleiner als 1 (etwa $= \frac{2}{3} - \frac{1}{2}$), und bei der 6—10 *m.* langen Durchströmung nimmt es noch ab oder bleibt constant oder nimmt höchstens nur ganz unbedeutend zu. Dabei ist eine Querschnittsverschiedenheit der beiden verschieden lebensfähigen Nerven in entsprechender Weise nicht zu constatiren und sicherlich auch nicht annähernd in solchem Grade vorhanden, dass aus ihr unsere Versuchsergebnisse sich erklären liessen. Mit der Lebensfähigkeit des Nerven wächst also der specifische Widerstand desselben und nimmt die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes an Steilheit in ihrem Verlaufe zu.

Zur Controle dehnen wir die Untersuchung noch auf die Nerven verschiedener Frösche aus, welchen eine wesentlich verschiedene Lebensfähigkeit von vornherein zuzuschreiben kein Anlass ist, indem wir die Nerven von zwei gleich grossen Fröschen desselben Fanges, welche seit

1) *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 168*.

2) *Ders.*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 169—170*.

dem Fange unter denselben Umständen aufbewahrt und zur Zeit gleich munter und lebhaft sind, zu eben solchen Versuchen benutzen. Hier ist alsdann Φ unmittelbar nach der Schliessung der Kette bald etwas grösser bald etwas kleiner als 1, aber bei weitem nicht so viel von 1 abweichend, wie es vorhin der Fall war. Und wie dies nur naturgemäss ist, da wir ja gewissermassen nur in den Extremen aus dem Verhalten der Thiere die Lebensfähigkeit ihrer Nerven ohne Weiteres entnehmen können, so stimmt es auch weiter ganz mit dem, was wir vorhin fanden, überein, dass in diesen Versuchen Φ zunimmt, wenn es nach der Schliessung der Kette grösser, dagegen abnimmt, wenn es nach der Schliessung der Kette kleiner als 1 gewesen war.

Versuch 66.

(Versuchsanordnung Fig. 13.)

K: 1 Daniell.

11 *h*. 43 *m*. Zwei gleich grosse Ran. esc. ††. — Frosch I ist Anfangs November gefangen und überwintert; Frosch II ist eben im Frühjahre gefangen.

53 *m*. Beide rechte Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass *a* und *α* und wiederum *b* und *β* die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind. — Der Nerv von Frosch I liegt z u. z_1, der Nerv von Frosch II ζ u. ζ_1 auf.

12 *h*. 0 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *a* und *α*.

20″. 560. Φ nimmt langsam zu.

1 *m*. 565.

2 *m*. 570.

4 *m*. 575.

6 *m*. 579. *K* geöffnet.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt.

ab und $\alpha\beta = 8^{mm}$; br und $\beta\varrho = 11^{mm}$; ao und $\alpha o = 6^{mm}$; al und $\alpha\lambda = 34^{mm}$. — Die Wirbelenden der Nerven lagen nach links, die Muskelenden nach rechts.

12 *h*. 26 *m*. Beide linke Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass *a* und *α* und wiederum *b* und *β* die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind. — Der Nerv von Frosch I liegt ζ und ζ_1, der Nerv von Frosch II z und z_1 auf.

30 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *a* und *α*.

10″. 916. Φ verändert sich in der ersten halben Min. kaum und nimmt dann ab.

12 *h*. 31 *m*. 914.
32 *m*. 911,5.
34 *m*. 908,5.
36 *m*. 905. *K* geöffnet.

ab und $\alpha\beta = 8^{mm}$; $br = 12^{mm}$; $\beta\varrho = 13^{mm}$; ao und $\alpha o = 5^{mm}$; al und $\alpha\lambda = 35^{mm}$. — Sonst Alles wie vorhin.

Versuch 67.

(Versuchsanordnung Fig. 13.)

K: 1 Daniell.

10 *h*. 20 *m*. Zwei gleich grosse und gleich muntere (Frühjahrs-) Frösche von demselben Fange ††. — Dem Aussehen des Fleisches nach zu urtheilen, muss der Nerv von Frosch I lebensfähiger sein als der Nerv von Frosch II.

28 *m*. Beide rechte Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass a und α und wiederum b und β die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind. — Der Nerv von Frosch I liegt ζ u. ζ_1, der Nerv von Frosch II z u. z_1 auf.

34 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei a und α.
15″. 686. Φ nimmt ab.
35 *m*. 678.
36 *m*. 671,5.
37 *m*. 666.
39 *m*. 659.
41 *m*. 653.
44 *m*. 647. *K* geöffnet.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt.

ab und $\alpha\beta = 8^{mm}$; ao und $\alpha o = 6^{mm}$; al und $\alpha\lambda = 36^{mm}$; $br = 11^{mm}$; $\beta\varrho = 12^{mm}$. — Die Wirbelenden der Nerven lagern nach links, die Muskelenden nach rechts.

11 *h*. 9 *m*. Beide linke Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass a und α und wiederum b und β die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind. — Der Nerv von Frosch I liegt z u. z_1, der Nerv von Frosch II ζ u. ζ_1 auf.

18 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei a und α.
15″. 856. Φ nimmt ab.
19 *m*. 855.
24 *m*. 852.

11 *h.* 28 *m.* 845. *K* geöffnet.

ab und $\alpha\beta = 8^{mm}$ ($\alpha\beta$ eine Spur kleiner); $ao = 6^{mm}$; $al = 36^{mm}$; $br = 11^{mm}$; $\alpha o = 5^{mm}$; $\alpha\lambda = 35^{mm}$; $\beta\varrho = 13^{mm}$. — Sonst Alles wie vorhin.

Versuch 68.

(Versuchsanordnung Fig. 13.)

K: 1 Daniell.

2 *h.* 32 *m.* Zwei gleich grosse Ran. esc. ††. — Frosch I ist frisch gefangen und sehr munter; Frosch II, vor einiger Zeit gefangen, ist krank.

40 *m.* Beide rechte Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass a und α und wiederum b und β die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind. Der Nerv von Frosch I liegt ζ und ζ_1, der Nerv von Frosch II z und z_1 auf.

45 *m.* *K* geschlossen. Stromeintritt bei a und α.

15″. 614. *Φ* nimmt ab.

46 *m.* 609.

47 *m.* 602.

49 *m.* 592.

51 *m.* 584. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei b und β.

10″. 600. *Φ* nimmt zu.

52 *m.* 614.

54 *m.* 625.

56 *m.* 628. *K* geöffnet.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt.

ab und $\alpha\beta = 8^{mm}$; ao und $\alpha o = 4^{mm}$; $al = 30^{mm}$; $br = 13^{mm}$; $\alpha\lambda = 28^{mm}$; $\beta\varrho = 9^{mm}$. — Die Wirbelenden lagen nach links, die Muskelenden nach rechts.

Da w_f nahezu verschwindet gegen w_g (s. o. S. 109.), ist die Veränderung, welche der specifische Widerstand des Nerven mit der Lebensfähigkeit desselben erfährt, auf Rechnung von w_f zu setzen. Und will man nicht die offenbar gezwungene, durch Nichts gestützte und an sich höchst unwahrscheinliche Annahme machen, dass mit der Abnahme der Lebensfähigkeit ohne wesentliche Veränderung des Nervenquerschnittes — etwa durch eine Schrumpfung der Gerüsttheilchen — die zwischen diesen befindlichen engen Röhrchen wesentlich sich erweitern, so muss man dann die erkannte Veränderung des Nervenwiderstandes in einer Veränderung des specifischen Widerstandes der Nervenflüssigkeit begründet sein lassen.

Wie es denn auch ein physiologisches Postulat ist, dass Ernährungsstörungen im Thierkörper, wenn nicht ausschliesslich, so doch jedenfalls zuerst und überwiegend auf die Constitution der Nervenflüssigkeit einwirken.

Mit dem specifischen Widerstande der Nervenflüssigkeit müssen nun — bei der gleichen Stromintensität — sowohl die Wärmeentwickelung in der durchströmten Nervenstrecke wie die Menge der in ihr abgeschiedenen Ionen [s. o. Abschn. I. Kap. I. § 1 (5)] und demgemäss auch die auf beiden Ursachen beruhende Widerstandsabnahme der Nervenstrecke wachsen. Daraus, dass mit der Lebensfähigkeit des Nerven resp. dem specifischen Widerstande der Nervenflüssigkeit die Widerstandszunahme der Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes an Steilheit in ihrem Verlaufe gewinnt, ist daher unmittelbar zu folgern, dass die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit und daher auch die Verarmung selbst mit der Lebensfähigkeit des Nerven resp. dem specifischen Widerstande der Nervenflüssigkeit zunehmen. Und in Uebereinstimmung hiermit findet man auch, wenn man bei den obigen Versuchen auf die Formveränderungen des durchströmten Nerven achtet, die Verengung des Nerven in der Stromeintrittsgegend an dem lebensfähigen Nerven schon deutlich sichtbar zu der Zeit, zu welcher sie wegen der kurzen Dauer der Durchströmung an dem wenig lebensfähigen Nerven noch gar nicht oder wenigstens kaum zu bemerken ist.

Was wir eben sagten, dass mit dem specifischen Widerstande der Nervenflüssigkeit die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse wachsen muss, dürfte vielleicht nicht ganz vorwurfsfrei erscheinen. Man könnte einwenden wollen, dass, wenn auch die Quantitäten der in der Nervenflüssigkeit abgeschiedenen Ionen zunehmen, doch die in Folge der chemischen Verschiedenheit der Nervenflüssigkeit überhaupt anders gearteten Ionen möglicher Weise die Leitungsfähigkeit der Nervenflüssigkeit viel weniger verbesserten. Indessen können wir wider diesen Einwand uns darauf berufen, dass unten im § 5 (1) für einen ähnlichen Fall geradezu sich zeigen wird, dass der specifische Widerstand der Nervenflüssigkeit in Folge der Elektrolyse desto mehr abnimmt, je grösser er beim Beginne der Durchströmung war. Ausserdem genügte es, was die Hauptsache betrifft, darauf aufmerksam zu machen, dass die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse während der ersten Zeit nach der Schliessung der Kette, um welche es hier nur sich gehandelt hat, in ihrer absoluten Grösse der Widerstandsabnahme in Folge der Erwärmung und der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung gegenüber immer nur unbedeutend ist (vgl. Fig. 12.): schon deshalb würde, wie auch die Widerstandsabnahme in Folge der Elektrolyse sich verhalten mag, was wir für die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung

vorhin erschlossen haben, einem berechtigten Zweifel nicht unterliegen können[1].

Sowohl über die Veränderung des specifischen Widerstandes des Nerven wie auch besonders über die Veränderung der Widerstandszunahme der durchströmten Nervenstrecke mit der Lebensfähigkeit des Nerven sammelt man übrigens schon gute Erfahrungen, wenn man zur ersten Orientirung in dem uns beschäftigenden Gebiete die Versuche des Kap. II. recht zahlreich anstellt und die Frösche, wie sie gerade zur Hand sind, verwendet. Der grössere anfängliche Widerstand und die grössere Steilheit der Widerstandszunahme der durchströmten Nervenstrecke bei den Nerven gesunder und frisch eingefangener Frösche gegenüber den Nerven kranker oder lange aufbewahrter Frösche sind dabei so in die Augen springende Erscheinungen, dass sie selbst dem unaufmerksamen Beobachter nicht entgehen können; auch geht bei den letzteren Nerven hin und wieder der sehr langsamen Zunahme des Widerstandes noch eine beträchtliche und mehrere Minuten dauernde Abnahme desselben vorauf. Doch sind diese Versuche, in welchen mit dem specifischen Widerstande des Nerven auch noch die Intensität des die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes verschieden ist und der Einfluss des specifischen Widerstandes vielleicht, wenngleich nicht wahrscheinlich, nur durch die Anwesenheit des gegen den Widerstand der Nervenstrecke wohl in Betracht kommenden flüssigen Vergleichswiderstandes hervortritt, für die Ableitung des Einflusses der Lebensfähigkeit auf die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Verarmung nicht so gut wie die Oppositionsversuche zu verwenden, weil bei ihnen in der Nervenstrecke von dem grösseren specifischen Widerstande möglicher Weise eine geringere Wärmeentwickelung durch den Strom statthat.

So lange die Lebensfähigkeit der Nerven nur durch deren Fähigkeit, Muskelzuckung herbeizuführen, sich bestimmen liess, konnte der Verdacht bestehen bleiben, dass die verschiedene Lebensfähigkeit verschiedener Nerven vielleicht nur eine scheinbare und auf die entsprechend verschiedene Lebensfähigkeit ihrer Muskeln zurückzuführen wäre. Dieser Verdacht musste fortfallen durch die Erfahrung *du Bois-Reymond's*, dass die Stärke des Nervenstromes mit der Lebensfülle der Thiere steigt und fällt[2]. Jetzt kommt durch die vorstehenden Untersuchungen zu der verschiedenen Stärke des Nervenstromes als weitere physikalische Charakteristik der

1) Hinsichts des durch die verschiedene Grösse der inneren Polarisation von *ab* und $\alpha\beta$ in die Versuchsergebnisse eingeführten Fehlers lässt sich hier dasselbe, wie oben S. 168. Anm., geltend machen.

2) *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 287*.

verschieden lebensfähigen Nerven ihr verschiedener specifischer Widerstand noch hinzu.

Harless lässt die Substanz des frischen Nerven den elektrischen Strom 14,86 mal besser leiten als destillirtes Wasser und giebt an, dass bei seinen Bestimmungen Schwankungen zwischen 12,6 und 17,8 vorgekommen seien: diese Schwankungen sind nach ihm aus denjenigen Schwankungen zu erklären, welchen die Mischungsverhältnisse verschiedener Nerven im frischen Zustande unterworfen sein werden[1]. Stehen wir hier von jeder Discussion der Genauigkeit der *Harless*'schen Ergebnisse ab, so würde auf Grund unserer Untersuchungen die kleinste *Harless*'sche Zahl für die am meisten lebensfähigen Nerven, die grösste für die am wenigsten lebensfähigen Nerven in Anspruch zu nehmen sein; doch würde die letztere Zahl nach unseren Erfahrungen und in Uebereinstimmung damit, dass *Harless* die Nerven kranker und ausgehungerter Thiere nicht untersucht hat, für noch zu klein erklärt werden müssen.

§ 5. Von dem Einflusse des natürlichen Todes des Nerven.

(1.) Von dem Einflusse der Zeit nach dem Tode des Thieres.

Die Untersuchungen des Kap. II. führen gelegentlich auch zu Erfahrungen darüber, wie mit der Zeit nach dem Tode des Thieres der specifische Widerstand des Nerven und die Widerstandszunahme der durchströmten Nervenstrecke sich verändern. In dem sehr nahe liegenden Bestreben, die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke vom Leben und Tode des Nerven abhängig oder unabhängig zu erkennen und zu studiren, arbeitet man schon sehr früh nicht nur mit Nerven eben getödteter Thiere, sondern auch mit solchen Nerven, welche dem vor langer Zeit getödteten Thiere für den Versuch entnommen sind. Dabei stellen sich denn bei den letzteren Nerven der specifische Widerstand grösser und die Widerstandszunahme bei der Durchströmung steiler heraus als bei den ersteren Nerven; und der Unterschied ist desto auffallender, je näher die letzteren Nerven dem Tode oder der Fäulniss sind.

Um exacte und auch feinere Ergebnisse zu gewinnen, verfahren wir auf zweierlei Weise, indem wir uns der Versuchsanordnungen Fig. 1. oder Fig. 13. bedienen.

Im ersten Falle untersuchen wir bei unveränderter Versuchsanordnung und bei unveränderten und unverrückbar festgestellten Zuleitungsröhren

1) *E. Harless*, Molekuläre Vorgänge in der Nervensubstanz. I. Abhandlung. Abhandlungen der mathem.-physik. Classe der Bayer. Akad. d. Wiss. Bd. VIII. Abth. II. S. 345*; — Neurophysiologische Forschungen. S. 16—17*.

nach der Auflagerung gleicher (anatomischer) Stellen auf die Zuleitungsröhren die beiden Nerven eines getödteten Thieres mit einer kleineren oder grösseren Zwischenzeit nach einander. Wir wählen ferner eine Anzahl gleich grosser und gleich munterer Frösche von demselben Fange aus und untersuchen deren sämmtliche Nerven so, wie eben die beiden Nerven desselben Thieres, zu verschiedenen Zeiten nach dem Tode der Thiere. Und zwar prüfen wir hier entweder den ersten Nerven eines jeden Thieres unmittelbar nach dem Tode dieses und nur den zweiten Nerven zu einer für die verschiedenen Versuche verschieden langen Zeit nach dem Tode des Thieres, oder wir lassen für alle ersten wie zweiten Nerven mit mannigfachen und leicht zu ersinnenden Modificationen zu einer verschieden späten Zeit nach dem Tode des Gesammtorganismus die Durchströmung eintreten. Es versteht sich von selbst, dass bis zur Untersuchung der Nerven die enthäuteten, sonst aber unversehrten Schenkel hier, wie überall sonst, im feuchten Raume aufbewahrt werden.

Im zweiten Falle, wenn wir unser Oppositionsverfahren in Anwendung ziehen, tödten wir von einer ausgewählten Anzahl gleich grosser und gleich munterer Frösche desselben Fanges die eine Hälfte und vergleichen nach gewissen und wiederum vielfach variirten Fristen deren Nerven mit den Nerven der anderen Hälfte von Fröschen, welche entweder jedes Mal erst unmittelbar vor dem Versuche oder wenigstens einige Zeit später als die erste Hälfte der Frösche getödtet werden. Wir wiederholen also genau unsere Oppositions-Vorversuche (S. 163.), nur mit der Modification, dass wir zwei Nerven in Vergleich ziehen, deren Gesammtorganismen verschieden lange todt sind.

Zur Controle dienen in beiden Fällen einmal Versuche, an den beiden Nerven desselben Thieres unmittelbar nach einander (beim ersten Verfahren) resp. zugleich (beim zweiten Verfahren) zu irgend einer Zeit nach dem Tode des Thieres angestellt, und sodann auch entsprechende Versuche an den Nerven zweier gleichzeitig getödteter Thiere. Man findet, um dies sogleich vorwegzunehmen, bei den ersteren Versuchen immer und meist auch bei den letzteren Versuchen nur mässige Abweichungen der beiden Nerven. Nur wenn die Thiere schon lange todt sind, kommen bei den letzteren Versuchen grössere Abweichungen der beiden Nerven vor: wie es auch von vornherein nicht anders sich erwarten liess, da die Nerven der verschiedenen ausgewählten Frösche immerhin noch von verschiedener Lebensfähigkeit sein werden und demgemäss gewiss auch verschieden oder wenigstens verschieden rasch mit der Zeit nach dem Tode der Thiere sich verändern werden.

Die folgende Versuchsreihe (Vers. 69—74.) ist am 20. November bei 13⅓° C. Zimmertemperatur an Anfangs November eingefangenen, gleich grossen und gleich munteren Fröschen angestellt. Die Zimmertemperatur war in den Tagen vom 14. bis 20. November von 16° C. aus allmählich auf 13⅓° C. gesunken. — Versuchsanordnung Fig. 13. — *K*: 1 Daniell.

Versuch 69.

Auf z und z_1 der rechte Ischiad. eines am 17. November 3 Uhr Nachmittags †† Frosches gelegt. Die Consistenz des Nerven ist etwas vermehrt. Die Gastrocnemien getrübt, noch nicht faulig. — Auf ζ und ζ_1 der rechte Ischiad. eines am 14. Nov. 8 Uhr Morgens †† Frosches gelegt. Die Consistenz des Nerven ist gegen den frischen Nerven nicht vermehrt. Die Muskeln breiig zerfliessend.

1 *h*. 35 *m*. Ischiadici aufgelegt (so dass a und α und wiederum b und β die nämlichen anatomischen Stellen beider Nerven sind).

40 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei b und β.

10″. 851. Φ verändert sich nicht merklich bis

45 *m*.

Versuch 70.

Auf z und z_1 der rechte Ischiad. eines am 16. Nov. 8 Uhr Morgens †† Frosches gelegt. Die Consistenz des Nerven ist auffallend vermehrt. Die Muskeln faulig. — Auf ζ und ζ_1 der rechte Ischiad. eines am 17. Nov. 3 Uhr Nachmittags †† Frosches gelegt. Die Consistenz des Nerven ist deutlich vermehrt. Die Muskeln todtenstarr.

2 *h*. 13 *m*. Ischiadici aufgelegt.

22 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei b und β.

7″. 920. Φ nimmt ab.

24 *m*. 910.

26 *m*. 904.

28 *m*. 900.

Versuch 71.

Auf z und z_1 der linke Ischiad. des am 16. Nov. †† Frosches, dessen rechter Ischiad. zum vorigen Versuche benutzt ist, gelegt. — Auf ζ und ζ_1 der rechte Ischiad. eines eben 2 *h*. 41 *m*. †† Frosches gelegt.

2 *h*. 49 *m*. Ischiadici aufgelegt.

55 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei b und β.

2 *h*. 55 *m*. 10″. 1100. Φ nimmt ab.
56 *m*. 1097.
58 *m*. 1088.
3 *h*. 2 *m*. 1082,5.

Versuch 72.

Auf z und z_1 der linke Ischiad. des am 17. Nov. †† Frosches, dessen rechter Ischiad. zum Vers. 70. benutzt ist, gelegt. — Auf ζ und ζ_1 der rechte Ischiad. eines am 19. Nov. 10¼ Uhr Abends †† Frosches gelegt. Die Oberschenkelmuskeln sind etwas getrübt, sonst sieht der Schenkel noch ganz frisch aus. Bei der Durchschneidung der Oberschenkeläste zucken Muskeln schwach, ebenso bei der Trennung des Nerven vom Unterschenkel. Durch Kupferzinkbogen war der Nerv nirgends mehr erregbar.

3 *h*. 23 *m*. Ischiadici aufgelegt.
29 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *b* und *β*.
10″. 980. Φ nimmt zu.
30 *m*. 985.
32 *m*. 991.
35 *m*. 1000.

Versuch 73.

Auf z und z_1 der linke Ischiad. des am 19. Nov. †† Frosches, dessen rechter Ischiad. zum vorigen Versuche gedient hat, gelegt. — Auf ζ und ζ_1 der rechte Ischiad. eines am 20. Nov. 7¾ Uhr Morgens †† Frosches gelegt. Mit Kupferzinkbogen werden noch dicht an der Wirbelsäule vom Nerven aus Zuckungen erlangt.

3 *h*. 54 *m*. Ischiadici aufgelegt.
59 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *b* und *β*.
7″. 681. Φ nimmt ab.
4 *h*. 0 *m*. 670.
2 *m*. 657.
5 *m*. 652.

Versuch 74.

Auf z und z_1 der linke Ischiad. des am 20. Nov. 7¾ Uhr Morgens †† Frosches, dessen rechter Ischiad. zum vorigen Versuche gedient hat, gelegt. — Auf ζ und ζ_1 der linke Ischiad. des am 20. Nov. 2 *h*. 41 *m*. Nachmittags †† Frosches, dessen rechter Ischiad. zum Vers. 71. benutzt ist, gelegt.

4 *h*. 19 *m*. Ischiadici aufgelegt.
25 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *b* und *β*.

4 *h*. 25 *m*. 10″. 861. Φ nimmt sehr langsam zu, so dass
28 *m*. 863. und verändert sich dann nicht merklich bis
31 *m*.

Die Nerven waren immer in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. Ihre Wirbelenden lagen nach rechts, ihre Muskelenden nach links.

Mit Abweichungen von höchstens 1^{mm} bei *al* (und $\alpha\lambda$), *bo* (und $\beta\varrho$) und *br* (und $\beta\varrho$) waren bei allen Versuchen der Reihe:
ab und $\alpha\beta = 9^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 13^{mm}$; *bo* und $\beta o = 7^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 37^{mm}$.

(Vgl. noch die an den beiden Nerven desselben Frosches angestellten Vers. 5 und 15.).

Bei jedem Verfahren gewinnt man durch die einzelne Versuchsreihe, je nachdem sie mehr oder weniger ausgedehnt ist, eine mehr oder minder gute Einsicht, durch viele Versuchsreihen aber eine recht vollkommene und zuverlässige Einsicht in die Veränderungen, welche der specifische Widerstand des Nerven und die Widerstandszunahme der durchströmten Nervenstrecke mit der Zeit erfahren. Die Ergebnisse der Untersuchung stimmen bei beiderlei Verfahren überein und sind folgende:

1) Bei dem Nerven grosser Lebensfähigkeit wächst der specifische Widerstand der betrachteten Nervenstrecke nach dem Tode des Thieres zu einem Maximum an, das nicht viel grösser ist als der ursprüngliche Widerstand, und fällt darauf wieder zu einem Minimum ab, welches dem ursprünglichen Widerstande der Nervenstrecke etwa gleichkommt. Vom Minimum aus nimmt der specifische Widerstand zum zweiten Male und zwar mit anfangs beschleunigter und später verzögerter Geschwindigkeit zu, erreicht ein zweites Maximum, welches mehrmals grösser ist als das erste Maximum, und wird danach mit erst beschleunigter und dann verzögerter Geschwindigkeit kleiner. Die Dauer der ersten Zunahme des Widerstandes ist verhältnissmässig nur klein gegenüber der Dauer der ersten Abnahme des Widerstandes und diese verhältnissmässig wiederum nur klein gegenüber der Dauer der zweiten Zunahme des Widerstandes.

Eine graphische Darstellung dieser Erfahrungen giebt auf Grund der Versuche für einen Nerven grosser Lebensfähigkeit bei 15—18° C. Zimmertemperatur die ausgezogene Curve der Fig. 15.: sie ist die Curve des specifischen Widerstandes einer (etwas unterhalb des Abganges des stärksten Oberschenkelastes gelegenen und) 6—10^{mm} langen Nervenstrecke, bezogen auf die Zeit nach dem Tode des Thieres.

2) Bei dem Nerven geringer Lebensfähigkeit nimmt der specifische Widerstand der betrachteten Nervenstrecke nach dem Tode des Thieres zu einem Minimum ab, welches wesentlich kleiner als der ursprüngliche Wi-

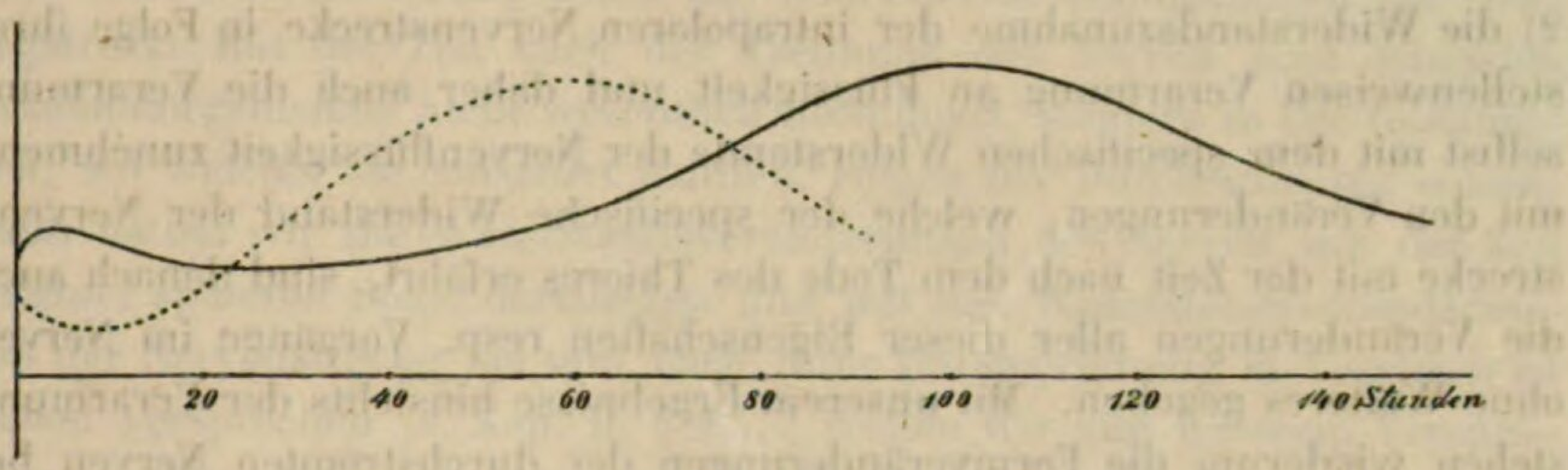


Fig. 15.

derstand ist, wächst darauf mit anfangs beschleunigter und später verzögerter Geschwindigkeit zu einem Maximum an, welches den ursprünglichen Widerstand weit übertrifft, und wird schliesslich mit erst beschleunigter und dann verzögerter Geschwindigkeit kleiner. Die Dauer der ersten Abnahme des Widerstandes ist auch hier verhältnissmässig nur klein gegenüber der Dauer der nachfolgenden Zunahme des Widerstandes; die Gesammtdauer der Widerstandsveränderungen, bis das Maximum erreicht ist, ist aber hier viel kleiner als die Gesammtdauer der Widerstandsveränderungen bei dem Nerven grosser Lebensfähigkeit, bis bei diesem das Maximum des Widerstandes eintritt.

Der ausgezogenen Curve der Fig. 15. sonst entsprechend, giebt eine graphische Darstellung dieser neuen Erfahrungen für einen Nerven sehr geringer Lebensfähigkeit auf Grund der Versuche die punktirte Curve der Fig. 15.

3) Mit jeder Abnahme des specifischen Widerstandes der Nervenstrecke mit der Zeit wird die Steilheit der Widerstandszunahme der Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes kleiner, und mit jeder Zunahme jenes specifischen Widerstandes wird die Steilheit dieser Widerstandszunahme grösser; auch ist die Veränderung der Steilheit der Widerstandszunahme immer desto grösser, je grösser die Veränderung des specifischen Widerstandes der Nervenstrecke ist. Die Veränderungen, welche die Steilheit der Widerstandszunahme der Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes mit der Zeit nach dem Tode des Thieres erfährt, sind danach ohne Weiteres auf das Genaueste mit den entsprechenden Veränderungen des specifischen Widerstandes der Nervenstrecke gegeben, wenn wir sagen, dass jene Steilheit mit dem specifischen Widerstande der Nervenstrecke wächst.

Aus diesen Erfahrungen ist nunmehr ebenso, wie im vorigen § bei der Untersuchung des Einflusses der Lebensfähigkeit, so dass wir eine Wiederholung uns ersparen dürfen, weiter zu schliessen: dass 1) die aufgefundenen Veränderungen des specifischen Widerstandes des Nerven in entsprechenden Veränderungen der Nervenflüssigkeit begründet sind und

2) die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit und daher auch die Verarmung selbst mit dem specifischen Widerstande der Nervenflüssigkeit zunehmen; mit den Veränderungen, welche der specifische Widerstand der Nervenstrecke mit der Zeit nach dem Tode des Thieres erfährt, sind danach auch die Veränderungen aller dieser Eigenschaften resp. Vorgänge im Nerven ohne Weiteres gegeben. Mit unserem Ergebnisse hinsichts der Verarmung stehen wiederum die Formveränderungen der durchströmten Nerven bei den obigen Versuchen in Uebereinstimmung: die Verengung des Nerven in der Stromeintrittsgegend ist bei dem Nerven von grösserem specifischen Widerstande stets beträchtlicher oder eher deutlich sichtbar als bei dem Nerven von wesentlich geringerem specifischen Widerstande.

Dass mit dem specifischen Widerstande der Nervenflüssigkeit die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse wächst, zeigt sich bei den Versuchen an Nerven vor Kurzem und wiederum schon lange getödteter Thiere recht eclatant, wenn man die Stromrichtung in den Versuchen wiederholt umkehrt. Von der allerersten Zeit nach der Umkehrung abgesehen, ist die Steilheit der Widerstandszunahme der durchströmten Nervenstrecke, wie wir wissen, nach der Umkehrung der Stromrichtung deshalb kleiner als vor der Umkehrung, weil der Strom in der umgekehrten Richtung die Nervenflüssigkeit in Folge der voraufgegangenen Elektrolyse in ihrem specifischen Widerstande mehr und mehr verringert findet. Bei den Nerven schon lange getödteter Thiere ist nun der Unterschied der Steilheit der Widerstandszunahme vor und nach jeder Umkehrung oft ungemein gross (vgl. Vers. 14.) und durchweg viel grösser als bei den Nerven vor Kurzem getödteter Thiere.

(2.) Von den Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit nach der Trennung des Nerven vom lebenden Gesammtorganismus.

Unsere Aufgabe, den Einfluss des natürlichen Todes des Nerven zu erforschen, ist jetzt nahezu gelöst. Denn die vorstehenden Untersuchungen haben von frischen Nerven bis auf Nerven bereits weit in der Fäulniss vorgeschrittener Thiere oder Präparate sich erstreckt, und ihre Ergebnisse schliessen daher ein, wie mit dem natürlichen Absterben des Nerven alle uns interessirenden Verhältnisse sich verändern. Es bleibt also nur noch festzustellen, an welchem Punkte der Abscissenaxe der Fig. 15., um uns so auszudrücken, der Nerv dem Tode verfallen ist.

Bevor wir jedoch hierzu übergehen, müssen wir bei den Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit noch verweilen. Man erinnert sich, dass unsere Discussionen im Kap. II. immer davon ausgingen, dass die dort ermittelten Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke bei und

nach ihrer Durchströmung durch die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke mit der Zeit nach der Trennung des Nerven vom lebenden Gesammtorganismus nicht wesentlich beeinflusst, sondern in der Genauigkeit, mit welcher sie constatirt wurden, Folgen der Durchströmung waren. Dafür hatten wir die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit an einer späteren Stelle darzulegen und mit den Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke bei und nach ihrer Durchströmung in Vergleich zu ziehen versprochen (s. Kap. II. § 2.). Wollen wir nun unserem Versprechen nachkommen, so müssen wir die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit noch genauer als bisher kennen lernen und, da es zweifelhaft ist, ob diese Widerstandsveränderungen an dem nach dem Tode des Thieres isolirten Nerven ganz so vor sich gehen wie an dem in seiner unversehrten Lage im Schenkel verbliebenen Nerven, sie gewissermassen unmittelbar an dem isolirten Nerven verfolgen. Wir schlagen hierfür ein neues Versuchsverfahren ein, und bei der Bedeutung, welche den Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit naturgemäss für jede Untersuchung zukommt, wird uns selbst eine einfache Bestätigung dessen, was wir bereits wissen, nur erwünscht sein können; es ist aber zu hoffen, dass wir noch manches Neue dabei erfahren werden.

Die Methode, mittelst welcher die Widerstandsveränderungen mit der Zeit an jedem einzelnen isolirten Nerven am genauesten und am weitesten sich verfolgen lassen, ist uns bereits gegeben: es ist die Methode der momentanen Schliessungen, welche oben S. 23. schon besprochen ist. Indem bei ihr die Durchströmung des Nerven in wechselnder Richtung statthat und auf eine minimale Zeit sich beschränkt, ist nicht nur die Fehlerquelle der inneren Polarisation vermieden, sondern auch, wie wir hier hinzufügen können, diejenige Fehlerquelle, welche die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge ihrer Durchströmung abgeben, auf das Möglichste beschränkt.

Nach dieser Methode vergewissern wir uns zunächst der Widerstandsveränderungen, welche unsere Zuleitungsröhren allein mit der Zeit erfahren. Wir vereinigen dazu an unseren Zuleitungsröhren, wie sie für die Versuche am Nerven vorbereitet sind, durch leichten Fingerdruck die unteren Enden ihrer Thonspitzen in geringer Ausdehnung. Als Vergleichswiderstand benutzen wir 45 Meilen T.-D. des *Siemens*'schen Rheostaten; *K* ist ein *Daniell*'sches Element. Die Ergebnisse veranschaulicht das folgende Beispiel, in welchem die laufende Zeit in der ersten Spalte von der Herrichtung der Zuleitungsröhren an gerechnet und in der zweiten Spalte die Schieberstellung angegeben ist, bei welcher zu der betreffenden Zeit der Bussolenspiegel nach der Schliessung der Kette nicht abgelenkt wurde.

Versuch 75.

	40 *m*.	656.	25 *h*.	8 *m*.	560.
4 *h*.	33 *m*.	633.	29 *h*.	33 *m*.	558.
8 *h*.	40 *m*.	625.	36 *h*.	31 *m*.	536.
13 *h*.	—	600.	45 *h*.	39 *m*.	545.
21 *h*.	14 *m*.	586.	47 *h*.	42 *m*.	531.

Es verlohnt nicht der Mühe, des Weiteren auf die Versuche einzugehen. Man sieht, dass der Widerstand der Zuleitungsröhren mit der Zeit in 24 Stunden um etwa 7 Meilen, in 48 Stunden um etwa 10 Meilen T.-D. abnimmt. Und da bei unseren Versuchen am Nerven mit der Capillarröhre als Vergleichswiderstand einer Widerstandsveränderung des Nervenzweiges um 10 Meilen T.-D. eine Verstellung des Schiebers im günstigsten Falle um noch nicht 1,5^{mm} entspricht, so werden bei den folgenden Versuchen, sobald nur einigermassen grosse Schieberverstellungen erforderlich sein werden, die Widerstandsveränderungen der Zuleitungsröhren mit der Zeit sich ganz vernachlässigen lassen.

Die Versuche am Nerven beginnen wir zum grösseren Theile sofort nach dem Tode des Thieres, indem wir möglichst rasch den Nerven herrichten und auf die Zuleitungsröhren bringen, zum kleineren Theile erst dann, wenn eine kürzere oder längere Zeit seit dem Tode des Thieres verflossen ist; im letzteren Falle wird der Nerv dem todten Thiere oder dem bis zur Wirbelsäule unverletzt erhaltenen Schenkel, die beide bis dahin im feuchten Raume aufbewahrt worden sind, erst unmittelbar vor dem Beginne des Versuches entnommen. *Wd* ist die Capillarröhre II, *K* 1 Daniell'sches Element. In Zwischenräumen anfangs von einer halben Stunde, später von einer oder mehreren Stunden bestimmen wir den Widerstand des Nerven, und zwar suchen wir eine jede Bestimmung durch möglichst wenige (2 — 4) Prüfungen zu gewinnen: eher ist auf eine auf den Millimeter genaue Bestimmung der erforderlichen Schieberstellung zu verzichten, als dass die Zahl der Prüfungen vermehrt werden sollte. Die Prüfungen sind durch Pausen von 2 Minuten von einander getrennt, und die Dauer der Durchströmung des Nerven bei jeder einzelnen Prüfung beträgt noch nicht 5 Secunden.

Von den Erfolgen der Untersuchung liefern ein gutes Bild die folgenden Beispiele, welche so ausgewählt sind, dass die wesentlichsten Modificationen sowohl der Bedingungen wie auch der Ergebnisse der Versuche unter ihnen vertreten sind. *T* giebt überall die Zeit an, welche vom Tode des Thieres bis zur Auflagerung des Nerven auf die Zuleitungsröhren verflossen war, und von dieser Auflagerung an ist stets die laufende Zeit in der ersten Spalte gerechnet. In der zweiten Spalte ist die Schieberstellung angegeben, bei welcher zu der links in gleicher Höhe verzeichneten Zeit der Bussolenspiegel nach der Schliessung der Kette keine Ablenkung

erfuhr. Die dritte Spalte endlich enthält die Temperaturen, welche — wiederum zu den in gleicher Höhe verzeichneten Zeiten — ein in der feuchten Kammer aufgehängtes Thermometer anzeigte.

Wo nicht besondere Angaben gemacht sind, war der Nerv immer den Zuleitungsröhren mit gewöhnlichen Thonspitzen in gewohnter Weise aufgelagert. In einigen Versuchen aber lag der Nerv nur der vorderen Kante der einen Thonspitze mit einer mittleren Stelle seines Verlaufes auf, der anderen Thonspitze lag er nahe der vorderen Kante auf der der ersteren Thonspitze zugekehrten Seitenfläche mit seiner Querschnittsfläche an, und es war, indem man beim Auflegen des Nerven zuerst die Querschnittsfläche sich anlegen liess, dafür Sorge getragen, dass nur der Querschnitt und nicht auch die Oberfläche des Nerven die betreffende Thonspitze berührte.

Statt einer einzelnen Nervenstrecke wurden in wenigen Versuchen zwei Strecken desselben Nerven hinsichts ihrer Widerstandsveränderungen mit der Zeit der Prüfung unterzogen. Es waren alsdann vier gleiche Zuleitungsröhren hergerichtet, und durch einen zwischen ihnen und dem Stromwender *B* (s. Fig. 1.) passend eingeschalteten Stromwender mit ausgenommenem Kreuze konnte bald das eine Paar, bald das andere Paar der Zuleitungsröhren in den Versuchskreis aufgenommen werden.

Es gehörten demselben Fange an einmal die Frösche der Vers. 76—82. und wiederum die Frösche der Vers. 83—88.

Vers. 76.

Mittelgrosse Rana esc., sehr munter, vor 2 Tagen gefangen.
Temperatur des Wassers im Froschtopfe: 15^0R.
$T = 5m.$

7 *m.*	730.	$17^1/_8{}^0$R.
43 *m.*	755.	$17^1/_4$ »
1 *h.* 7 *m.*	760.	» »
2 *h.* 5 *m.*	770.	$17^1/_3$ »
3 *h.* 7 *m.*	778.	» »
5 *h.* 7 *m.*	790.	» »
7 *h.* 13 *m.*	820.	» »
9 *h.* 7 *m.*	835.	» »
11 *h.* 13 *m.*	845.	» »
13 *h.* 13 *m.*	850.	$17^1/_4$ »
15 *h.* 11 *m.*	845.	$17^1/_8$ »
22 *h.* 49 *m.*	845.	17 »
27 *h.* 13 *m.*	847.	18 »
*31 *h.* 50 *m.*	910.	» »
35 *h.* 21 *m.*	965.	» »
38 *h.* 18 *m.*	985.	» »
47 *h.* 11 *m.*	1040.	$16^3/_4$ »

ab = 10,5mm; *bo* = 5mm; *bw* = 38mm; *am* = 15mm.
Muskeln todtenstarr; Consistenz des Nerven vermehrt.
Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen auf.

Vers. 77.

Mittelgrosse Ran. esc., sehr munter, vor 4 Tagen gefangen.
Wasser-Temp.: 15^0R.
T = 7*m.*

9 *m.*	535.	$16^3/_4{}^0$R.
42 *m.*	560.	» »
1 *h.* 10 *m.*	565.	» »
1 *h.* 40 *m.*	570.	$16^7/_8$ »
2 *h.* 10 *m.*	570.	» »
3 *h.* 8 *m.*	575.	» »
4 *h.* 17 *m.*	578.	» »
5 *h.* 27 *m.*	580.	$16^3/_4$ »
12 *h.* 17 *m.*	645.	$16^1/_2$ »
14 *h.* 8 *m.*	660.	» »
*23 *h.* 21 *m.*	740.	$16^1/_3$ »
26 *h.* 28 *m.*	755.	$16^1/_4$ »
31 *h.* 5 *m.*	763.	16 »
35 *h.* 34 *m*	773.	$15^7/_8$ »
47 *h.* 42 *m.*	798.	$15^1/_4$ »
51 *h.* 12 *m.*	807.	$15^1/_2$ »

ab = 12mm; *am* = 11 mm.
Muskeln haben zu faulen begonnen; Consistenz des Nerven vermehrt.
Der Nerv lag der rechten Thonspitze mit Querschnitt an.

Vers. 78.

Mittelgrosse Rana esc., sehr munter, vor 6 Tagen gefangen.
Der Froschrumpf bleibt unenthäutet im feuchten Raume.
$T = 3h.\ 45m.$

8 *m.*	730.	$15^1/_2{}^0$R.
40 *m.*	765.	$15^2/_3$ »
1 *h.* 10 *m.*	783.	$15^1/_2$ »
2 *h.* 13 *m.*	792.	» »
4 *h.* 18 *m.*	785.	$15^1/_3$ »
6 *h.* 11 *m.*	770.	$15^1/_2$ »
8 *h.* 24 *m.*	770.	$15^1/_4$ »
11 *h.* 6 *m.*	778.	» »
19 *h.* 45 *m.*	835.	15 »
*23 *h.* 6 *m.*	860.	$15^1/_2$ »
26 *h.* 10 *m.*	870.	$15^1/_4$ »
29 *h.* 6 *m.*	880.	» »
32 *h.* 16 *m.*	886.	15 »
35 *h.* 27 *m.*	892.	» »
44 *h.* 5 *m.*	905.	$14^7/_8$ »

ab = 12,5 mm; *bo* = 5mm; *bw* = 35mm; *am* = 13mm.
Muskeln todtenstarr; Consistenz des Nerven vermehrt.
Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen auf.

Vers. 79.

Zweiter Nerv von Vers. 78. Nerv im enthäuteten Schenkel im feuchten Raume verblieben.
Oberschenkelmuskeln faulig; Unterschenkelmuskeln todtenstarr; Consistenz des Nerven deutlich vermehrt.

$T = 49\,h.\ 49\,m.$

9 *m.*	840.	$15^7/_8$ ⁰R.
44 *m.*	828.	$15^3/_4$ »
1 *h.* 10 *m.*	838.	$15^2/_3$ »
2 *h.* 7 *m.*	847.	» »
3 *h.* 9 *m.*	870.	» »
4 *h.* 13 *m.*	893.	» »
5 *h.* 39 *m.*	920.	$15^1/_2$ »
7 *h.* 11 *m.*	935.	» »
9 *h.* 9 *m.*	943.	$15^1/_4$ »
11 *h.* 1 *m.*	949.	15 »
13 *h.* 23 *m.*	952.	» »
21 *h.* 19 *m.*	957.	» »

$ab = 9^{mm}$; $ao = 5^{mm}$; $aw = 40^{mm}$; $bm = 15^{mm}$.
Muskeln faulig; Consistenz des Nerven noch gegen früher vermehrt.
Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen auf.

Vers. 80.

Mittelgrosse Ran. esc., a p a t h i s c h, vor 9 Tagen gefangen.
Muskeln getrübt, Nerv dicht an der Wirbelsäule durch Kupferzinkbogen erregbar.
Wasser-Temp.: 13⁰R.

$T = 6m.$

10 *m.*	865.	$15^1/_3$ ⁰R.
44 *m.*	855.	$15^1/_4$ »
1 *h.* 10 *m.*	860.	$15^1/_2$ »
*2 *h.* 19 *m.*	873.	$15^2/_3$ »
3 *h.* 17 *m.*	883.	$15^7/_8$ »
4 *h.* 25 *m.*	895.	16 »
5 *h.* 18 *m.*	897.	» »
7 *h.* 28 *m.*	902.	» »
10 *h.* 1 *m.*	915.	» »
15 *h.* 0 *m.*	955.	» »
23 *h.* 26 *m.*	1015.	» »
27 *h.* 10 *m.*	1055.	$16^1/_2$ »
31 *h.* 10 *m.*	1085.	$16^1/_4$ »
35 *h.* 36 *m.*	1095.	» »
40 *h.* 0 *m.*	1100.	16 »
46 *h.* 38 *m.*	1092.	» »

$ab = 11{,}5^{mm}$; $bo = 5^{mm}$; $bw = 38^{mm}$; $am = 12^{mm}$.
Muskeln faulig; Consistenz des Nerven vermehrt.
Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen auf.

Vers. 81.

Mittelgrosse Ran. esc., ganz munter, vor 15 Tagen gefangen.
Wasser-Temp.: 16⁰R.

$T = 5m.$

11 *m.*	685.	$18^1/_8$ ⁰R.
38 *m.*	700.	$18^1/_4$ »
1 *h.* 6 *m.*	710.	$18^1/_3$ »
2 *h.* 7 *m.*	720.	$18^1/_2$ »
4 *h.* 0 *m.*	750.	» »
7 *h.* 55 *m.*	790.	$18^1/_4$ »
13 *h.* 13 *m.*	835.	$18^1/_8$ »
20 *h.* 18 *m.*	865.	18 »
24 *h.* 15 *m.*	850.	19 »
27 *h.* 52 *m.*	840.	—
37 *h.* 6 *m.*	840.	$19^1/_3$ »
44 *h.* 43 *m.*	910.	$19^7/_8$ »

$ab = 11{,}5^{mm}$; $bo = 5^{mm}$; $bw = 33^{mm}$; $al = 13^{mm}$.
Consistenz des Nerven vermehrt.
Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen auf und war in der Kniekehle vom Unterschenkel getrennt worden.

Vers. 82.

Mittelgrosse Rana escul., k r a n k (Geschwüre am Kopf), vor 17 Tagen gefangen.
Muskeln getrübt; Nerv dicht an der Wirbelsäule durch Kupferzinkbogen erregbar.
Wasser-Temp.: $18^2/_3$⁰R.

$T = 6m.$

11 *m.*	854.	$20^1/_3$ ⁰R.
47 *m.*	840.	$20^1/_2$ »
*55 *m.*	835.	» »
1 *h.* 55 *m.*	830.	$20^2/_3$ »
2 *h.* 55 *m.*	835.	$20^3/_4$ »
3 *h.* 56 *m.*	850.	$20^2/_3$ »
4 *h.* 56 *m.*	870.	$20^3/_4$ »
6 *h.* 2 *m.*	899.	» »
7 *h.* 56 *m.*	945.	$20^7/_8$ »
15 *h.* 31 *m.*	1110.	$20^1/_4$ »
23 *h.* 35 *m.*	1150.	$20^1/_2$ »
27 *h.* 11 *m.*	1165.	$20^7/_8$ »
32 *h.* 16 *m.*	1165.	$20^1/_2$ »
38 *h.* 21 *m.*	1120.	$20^3/_4$ »
48 *h.* 37 *m.*	1075.	$19^3/_4$ »

$ab = 11{,}5^{mm}$; $bo = 9^{mm}$; $bw = 45^{mm}$; $am = 12^{mm}$.
Muskeln faulig; Consistenz des Nerven gegen früher vermehrt.
Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen auf.

Vers. 83.

Grosse Ran. esc., sehr munter, vor 4 Tagen gefangen.
Wasser-Temp.: $13^3/_4$⁰R.

$T = 7m.$

7 *m.*	640.	$15^1/_4$ ⁰R.
41 *m.*	620.	$15^1/_3$ »
1 *h.* 7 *m.*	610.	$15^1/_3$ »
1 *h.* 35 *m.*	610.	» »
2 *h.* 5 *m.*	620.	$15^1/_2$ »
2 *h.* 35 *m.*	625.	» »
3 *h.* 35 *m.*	630.	» »
4 *h.* 35 *m.*	630.	$15^2/_3$ »
5 *h.* 35 *m.*	635.	» »
7 *h.* 37 *m.*	655.	$15^1/_2$ »
9 *h.* 37 *m.*	660.	» »
11 *h.* 37 *m.*	675.	» »
*13 *h.* 37 *m.*	695.	» »
24 *h.* 48 *m.*	775.	15 »
26 *h.* 35 *m.*	785.	» »
28 *h.* 35 *m.*	800.	» »
47 *h.* 23 *m.*	970.	14 »
49 *h.* 17 *m.*	985.	$14^1/_3$ »

$ab = 10^{mm}$; $bo = 8^{mm}$; $bw = 48^{mm}$; $am = 13^{mm}$.
Muskeln todtenstarr; Consistenz des Nerven vermehrt.
Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen auf.

Vers. 84.

Zweiter Nerv von Vers. 83. Nerv im enthäuteten Schenkel im feuchten Raume verblieben. Todtenstarre der Muskeln hat begonnen.

$T = 49\,h.\ 42\,m.$

6 *m.*	700.	$14^1/_2$	⁰R.
36 *m.*	680.	»	»
1 *h.* 6 *m.*	690.	$14^2/_3$	»
1 *h.* 36 *m.*	705.	$14^1/_2$	»
2 *h.* 4 *m.*	715.	»	»
3 *h.* 14 *m.*	755.	$14^2/_3$	»
4 *h.* 10 *m.*	790.	»	»
9 *h.* 54 *m.*	930.	$14^1/_8$	»
11 *h.* 53 *m.*	955.	»	»
21 *h.* 49 *m.*	1033.	$13^7/_8$	»

$ab = 10{,}7^{mm}$; $bo = 10^{mm}$; $bw\ 47^{mm}$; $am = 16^{mm}$.

Muskeln todtenstarr, Consistenz des Nerven vermehrt.

Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen auf.

Vers. 85.

Grosse Rana esc., sehr munter, vor 7 Tagen gefangen. Wasser-Temp.: 13⁰R.

$T = 8m.$

6 *m.*	610.	14	⁰R.
38 *m.*	650.	$14^1/_4$	»
1 *h.* 8 *m.*	655.	$14^1/_3$	»
1 *h.* 34 *m.*	660.	»	»
2 *h.* 4 *m.*	660.	»	»
3 *h.* 6 *m.*	665.	$14^1/_4$	»
4 *h.* 4 *m.*	670.	14	»
5 *h.* 4 *m.*	672.	»	»
7 *h.* 4 *m.*	676.	»	»

$ab = 13{,}5^{mm}$; $bo = 6^{mm}$; $bw = 46^{mm}$; $am = 15^{mm}$.

Bei Schliessung wie bei Oeffnung des ↑ und ↓ Stromes Zuckung.

Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch erregbar.

Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen auf.

Vers. 86.

Zweiter Nerv von Vers. 85. Nerv im enthäuteten Schenkel im feuchten Raume verblieben. Muskeln faulig; Consistenz des Nerven vermehrt.

$T = 119\,h.$

11 *m.*	605.	14	⁰R.
43 *m.*	630.	»	»
1 *h.* 15 *m.*	645.	«	»
1 *h.* 47 *m.*	660.	»	»
2 *h.* 15 *m.*	675(?)	»	»
3 *h.* 17 *m.*	720.	$14^1/_8$	»
5 *h.* 27 *m.*	830.	$14^2/_3$	»
24 *h.* 12 *m.*	1125.	$14^7/_8$	»
38 *h.* 1 *m.*	1170.	$15^1/_8$	»
47 *h.* 38 *m.*	1185.	$15^2/_3$	»

$ab = 10{,}5^{mm}$; $bo = 10^{mm}$; $bw\ 48^{mm}$; $am = 13^{mm}$.

Muskeln breiig zerflossen; Consistenz des Nerven auffallend vermehrt.

Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen auf.

Vers. 87.

Grosse Rana esc., sehr munter, vor 8 Tagen gefangen. Wasser-Temp.: $13^1/_8$⁰R.

$T = 5m.$

9 *m.*	630.	$14^1/_3$	⁰R.
39 *m.*	649.	»	»
1 *h.* 9 *m.*	648.	»	»
1 *h.* 39 *m.*	646.	»	»
2 *h.* 9 *m.*	644.	»	»
3 *h.* 7 *m.*	644.	»	»
4 *h.* 7 *m.*	642.	»	»
7 *h.* 49 *m.*	644.	14	»
18 *h.* 11 *m.*	699.	»	»
21 *h.* 11 *m.*	737.	$14^3/_4$	»
24 *h.* 32 *m.*	780.	$14^2/_3$	»
27 *h.* 33 *m.*	810.	»	»
32 *h.* 27 *m.*	865.	$14^1/_2$	»
41 *h.* 57 *m.*	920.	$14^1/_8$	»

$ab = 13^{mm}$; $bo = 11^{mm}$; $bw = 44^{mm}$; $am = 12^{mm}$.

Muskeln todtenstarr; Consistenz des Nerven (eben deutlich) vermehrt.

Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen breiten Thonspitzenkanten auf.

Vers. 88.

Zweiter Nerv von Vers. 87. Nerv im enthäuteten Schenkel im feuchten Raume verblieben. Muskeln faulig.

$T = 42\,h.\ 29\,m.$

10 *m.*	785.	$14^1/_2$	⁰R.
33 *m.*	788.	$14^2/_3$	»
1 *h.* 12 *m.*	830.	15	»
1 *h.* 33 *m.*	850.	»	»
2 *h.* 11 *m.*	885.	»	»
3 *h.* 9 *m.*	930.	»	»
4 *h.* 9 *m.*	965.	»	»
5 *h.* 11 *m.*	990.	$15^1/_8$	»
6 *h.* 9 *m.*	1007.	»	»
8 *h.* 11 *m.*	1035.	»	»
10 *h.* 9 *m.*	1058.	»	»
12 *h.* 9 *m.*	1070.	15	»
13 *h.* 15 *m.*	1068.	»	»
22 *h.* 43 *m.*	1065.	»	»
25 *h.* 45 *m.*	1065.	$15^3/_4$	»
31 *h.* 0 *m.*	1070.	$15^2/_3$	»
37 *h.* 45 *m.*	1078.	15	»
46 *h.* 35 *m.*	1085.	14	»

$ab = 11^{mm}$; $bo = 7^{mm}$; $bw = 39^{mm}$; $am = 18^{mm}$.

Muskeln faulig zerfliessend; Consistenz des Nerven sehr vermehrt.

Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen breiten Thonspitzenkanten auf.

Vers. 89.

Mittelgrosse Rana esc., sehr munter.
Nerv im enthäuteten Schenkel im feuchten Raume verblieben.
Muskeln und Nerv gut aussehend.
Nerv in der Nähe des Unterschenkels noch durch Kupferzinkbogen erregbar.
$T = 23\,h.\ 35$ m.

12 *m.*	730.
38 *m.*	770.
1 *h.* 11 *m.*	800.
2 *h.* 11 *m.*	825.
3 *h.* 15 *m.*	855.
4 *h.* 15 *m.*	885.
5 *h.* 13 *m.*	930.
6 *h.* 15 *m.*	967.
7 *h.* 9 *m.*	990.
*9 *h.* 18 *m.*	1065.
10 *h.* 18 *m.*	1095.
13 *h.* 27 *m.*	1120.
23 *h.* 37 *m.*	1120.
25 *h.* 35 *m.*	1115.
28 *h.* 57 *m.*	1100.
31 *h.* 43 *m.*	1080.
47 *h.* 50 *m.*	1030.

$ab = 6^{mm}$; $bo = 8^{mm}$; $bw = 38^{mm}$; $am = 18^{mm}$.
Consistenz des Nerven vermehrt.
Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen auf.

Vers. 90.

Sehr grosse Rana esc., vor zwei Tagen gefangen.
Wasser-Temp.: $16^1/_2$ 0R.
$T = 8m.$

A. Peripherische Nervenstrecke.			*B.* Centrale Nervenstrecke.		
20 *m.*	505.	$18^7/_8$ 0R.	14 *m.*	530.	$18^7/_8$ 0R.
50 *m.*	465.	$18^3/_4$ »	44 *m.*	495.	$18^3/_4$ »
1 *h.* 20 *m.*	455.	» »	1 *h.* 12 *m.*	485.	» »
2 *h.* 16 *m.*	445.	» »	2 *h.* 12 *m.*	475.	» »
3 *h.* 16 *m.*	442.	» »	3 *h.* 11 *m.*	470.	» »
5 *h.* 12 *m.*	460.	$18^2/_3$ »	5 *h.* 15 *m.*	470.	$18^2/_3$ »
*8 *h.* 19 *m.*	500.	$18^1/_3$ »	*8 *h.* 11 *m.*	483.	$18^1/_3$ »
19 *h.* 59 *m.*	575.	» »	19 *h.* 51 *m.*	550.	» »
25 *h.* 11 *m.*	645.	18 »	25 *h.* 21 *m.*	555.	18 »
30 *h.* 12 *m.*	680.	$17^2/_3$ »	30 *h.* 6 *m.*	565.	$17^2/_3$ »
35 *h.* 9 *m.*	755.	$17^1/_3$ »	35 *h.* 15 *m.*	607.	$17^1/_3$ »
44 *h.* 19 *m.*	860.	17 »	44 *h.* 11 *m.*	727.	17 »
48 *h.* 8 *m.*	900.	$17^1/_2$ »	48 *h.* 15 *m.*	785.	$17^1/_2$ »
51 *h.* 2 *m.*	940.	$17^1/_3$ »	50 *h.* 55 *m.*	820.	$17^1/_3$ »
56 *h.* 23 *m.*	1000.	$17^1/_6$ »	56 *h.* 28 *m.*	900.	$17^1/_6$ »
59 *h.* 30 *m.*	1015.	17 »	59 *h.* 14 *m.*	915.	17 »
68 *h.* 7 *m.*	1000.	$16^3/_4$ »	68 *h.* 14 *m.*	960.	$16^3/_4$ »
77 *h.* 17 *m.*	960.	18 »	77 *h.* 7 *m.*	960.	18 »
83 *h.* 26 *m.*	930.	$18^1/_4$ »	83 *h.* 22 *m.*	930.	$18^1/_4$ »
92 *h.* 33 *m.*	935.	18 »	92 *h.* 47 *m.*	965.	18 »

Muskeln faulig; die Consistenz des Nerven deutlich, aber nicht auffallend vermehrt.
B berührte die eine Thonspitze mit dem an der Abgangsstelle des stärksten Oberschenkelastes angelegten Querschnitte und war 8^{mm} lang. *A* war 6—7^{mm} lang. Der Abstand von *A* und *B* betrug 10^{mm}; der Abstand von *A* und dem Muskel ebenfalls 10^{mm}.

Vers. 91.

Mittelgrosse Rana esc., unter Schreien und Tetanus gestorben und bis zum Versuche im Froschtopfe geblieben.
Beginnende Todtenstarre.
Wasser-Temp.: 13 0R.
$T = 2\,h.\ 23\,m.$

*6 *m.*	755.	14 0R.
36 *m.*	734.	» »
1 *h.* 4 *m.*	725.	» »
1 *h.* 34 *m.*	725.	» »
2 *h.* 6 *m.*	720.	» »
3 *h.* 6 *m.*	712.	» »
4 *h.* 6 *m.*	705.	» »
6 *h.* 6 *m.*	710.	» »
15 *h.* 1 *m.*	750.	$13^2/_3$ »

$ab = 13^{mm}$; $bo = 7^{mm}$; $bw = 32^{mm}$; $am = 14^{mm}$.
Muskeln todtenstarr.
Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen auf.

Vers. 92.

Zweiter Nerv von Vers. 91.
Nerv im enthäuteten Schenkel im feuchten Raume verblieben.
Muskeln todtenstarr.
$T = 18\,h.$

4 *m.*	770.	14 0 R.
36 *m.*	742.	$14^1/_8$ »
1 *h.* 4 *m.*	735.	$14^1/_4$ »
1 *h.* 36 *m.*	733.	$14^1/_3$ »
2 *h.* 6 *m.*	738.	$14^1/_2$ »
3 *h.* 4 *m.*	750.	» »
4 *h.* 6 *m.*	768.	$14^1/_3$ »
5 *h.* 8 *m.*	792.	» »

$ab = 13{,}5^{mm}$; $bo = 7^{mm}$; $bw = 32^{mm}$; $am = 12^{mm}$.
Der Nerv lag mit zwei mittleren Stellen auf.

Vers. 93.

Mittelgrosse Rana esc., sehr munter, vor 8 Tagen gefangen.
$T = 4m.$

8 *m.*	720.
36 *m.*	820.
1 *h.* 0 *m.*	845.
1 *h.* 28 *m.*	860
1 *h.* 58 *m.*	867.

$ab = 8^{mm}$; $bo = 10^{mm}$; $bw = 42^{mm}$; $am = 9^{mm}$.
Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar. Er lag mit zwei mittleren Stellen auf.

Betrachten wir unsere Versuche für sich, ohne unsere früheren Erfahrungen zu berücksichtigen, so muss unter den Fehlerquellen der Versuche unsere Aufmerksamkeit zuerst in Anspruch nehmen der etwaige Wasserverlust des Nerven. Einem solchen hatten wir, wie oben S. 33. angemerkt ist, durch Bedecken der Wände der Kammer mit feuchtem Fliesspapier und durch Aufstellen mehrerer poröser, mit Wasser gefüllter Thontröge in der Kammer vorgebeugt. Zum Zwecke grösster Sicherheit waren aber in einigen Versuchen noch flache Schalen mit Wasser oder feuchtem Fliesspapier auf dem Boden der Kammer überall da, wo es anging, aufgestellt: doch haben diese Versuche nur dieselben Ergebnisse geliefert, wie die anderen, in welchen solche Vorsichtsmassregeln nicht getroffen waren. Es hat somit eine Wasserabgabe des Nerven an die Luft der Kammer, von der allerersten Zeit des Versuches abgesehen (s. u.), gewiss nicht stattgehabt.

Dies zeigen auch unsere Versuche selbst. Trotz der langen Dauer derselben wächst der Widerstand der Nervenstrecke auf noch nicht das Doppelte bis auf das Vierfache, in einem einzigen Falle auf etwa das Sechsfache seiner ursprünglichen Grösse an: während schon ein geringer Wasserverlust des Nerven in so vielen Minuten, wie dort in Tagen, den Widerstand des Nerven enorm steigert, wie man sich leicht überzeugt, wenn man nach Beendigung jener Versuche auf kurze Zeiten die eigentliche Kammer vom Grundbrette abhebt oder auch nur die vordere Kammerwand öffnet. Dazu kommt, dass bei den genügend lange fortgesetzten Versuchen der Widerstand des Nerven, der vorher sehr gewachsen ist, während der letzten langen Zeit des Versuches fast unverändert bleibt oder nur unbedeutend zunimmt oder gar abnimmt: und doch müsste, wenn die Kammerluft nicht mit Wassergas gesättigt wäre und bliebe, in den späteren Zeiten des Versuches gerade ein desto grösserer Wasserverlust des Nerven, der bis dahin seiner Widerstandszunahme gemäss nur spurweise Wasser verloren haben könnte, eintreten. Endlich nehmen die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit, je nachdem das Thier gesund oder krank und eben erst oder vor längerer Zeit getödtet war, in den verschiedenen Versuchen einen regelmässig verschiedenen Verlauf: was mit der Annahme der Wasserabgabe des Nerven als Ursache selbst nur eines Theiles seiner Widerstandszunahme bei den vielen Zufälligkeiten, welchen die Wasserabgabe bei den verschiedenen Versuchen unterworfen sein müsste, durchaus unvereinbar ist.

Nur für die allererste Zeit eines jeden Versuches würde an die Möglichkeit einer Wasserabgabe des Nerven zu denken sein, weil man für die Auflagerung des Nerven die Kammer öffnen muss. Indessen wird, wenn, wie es in unseren Versuchen geschah, die lange vorher geschlossen gehal-

tene Kammer für das Einbringen des Nerven nur ein wenig und nur auf etwa 1 Minute geöffnet wird, zumal in Anbetracht der ungemein grossen feuchten Oberfläche der Kammer, die Wasserabgabe des Nerven in der allerersten Zeit des Versuches als nur höchst gering sich vernachlässigen lassen. Oder, wenn es sich um die grösste Genauigkeit handelt, so wird auch nicht übersehen werden dürfen, dass nach der Aufnahme des kälteren Nerven (s. u.) in die wärmere Kammerluft Wassergas an dem Nerven sich condensiren muss und dieser Flüssigkeitszuwachs jene Flüssigkeitsabnahme wohl wird compensiren können.

Die zweite Fehlerquelle der Versuche bilden die Temperaturveränderungen des Nerven. Sobald der Nerv die Temperatur der Kammerluft angenommen hat, muss weiterhin seine Temperatur — von den prüfenden Durchströmungen sehen wir hier ab — mit der Temperatur der Kammerluft, nur langsamer als diese, sich verändern, und unsere Bestimmungen der letzteren Temperatur lassen uns daher übersehen, ob und welche Widerstandsveränderungen der Nerv während der Zeit eines jeden Versuches in Folge von Temperaturveränderungen erfahren hat; beiläufig bemerkt, sind dieselben, wie die Durchsicht der Versuche lehrt, im Ganzen und Grossen kaum in Anschlag zu bringen. Eine besondere Berücksichtigung erfordert aber noch die Temperaturveränderung des Nerven in der ersten Zeit des Versuches. Die Körpertemperatur lebender Frösche[1] ist bei deren Aufenthalte im Wasser ein wenig ($\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ °C.) höher als die Temperatur des umgebenden Mediums, und die Temperatur des Wassers in unseren Froschtöpfen ist (nach vielen Bestimmungen) unter nicht aussergewöhnlichen Bedingungen[2] um 1 — 4 °C. und darüber niedriger gewesen als die Temperatur der Zimmer- und Kammerluft. Der unmittelbar nach dem Tode des Thieres zum Versuche verwandte Nerv erfuhr also einen Temperaturzuwachs von einem oder mehreren Graden, der nur zu einem Theile in die Zeit der Präparation und Auflagerung des Nerven fallen, zum anderen Theile aber während der ersten Zeit des Versuches statthaben konnte; und es wird daher bei den betreffenden Versuchen von den zur Beobachtung gekommenen anfänglichen Widerstandsveränderungen des Nerven, um die Widerstandsveränderungen mit der Zeit fehlerlos zu erhalten, eine durch die Temperaturzunahme bedingte Abnahme des Widerstandes mit abnehmender Geschwindigkeit in Abzug zu bringen sein. Die gleiche Berichtigung, allerdings verhältnissmässig nur im Kleinen, wird alsdann hin und

1) Vgl. *H. Milne-Edwards*, Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée etc. Tom. VIII. Paris 1863. p. 8—9*.

2) Es ist bei den Bestimmungen hier, wie bei den Versuchen, besonders darauf geachtet worden, dass das Wasser in den Töpfen nicht etwa erst vor Kurzem erneuert worden war.

wieder auch an den Ergebnissen derjenigen Versuche vorzunehmen sein, in welchen nicht frische Nerven der Prüfung unterzogen wurden. Denn die feuchte Kammer, in welcher die todten Thiere und Schenkel aufbewahrt wurden, hatte manchmal an einem Orte gestanden, der etwas kühler als der Arbeitsraum war.

Als an eine dritte Fehlerquelle der Versuche wäre an den Strom des ruhenden Nerven zu denken. So weit zwar der Nerv hier, wie bei den voraufgegangenen Versuchen, mit zwei mittleren Stellen seines Verlaufes den Zuleitungsröhren auflag, betrug bei der geringen Empfindlichkeit, welche unser Galvanometer für alle diese Versuche nur besass, die Ablenkung durch den Strom des ruhenden Nerven höchstens 1^0 resp. $0,5^{sc}$, und dieser Ablenkung entsprach bei der geringsten Empfindlichkeit unserer Anordnung im günstigsten Falle eine Veränderung der Schieberstellung um c. 3^{mm}, eine Veränderung also, welche durchaus sich vernachlässigen liess; und es hat deshalb auch diese Fehlerquelle früher nicht Erwähnung gefunden. Bei den jetzigen Versuchen lag aber der Nerv hin und wieder nur der einen Thonspitze mit seinem Längsschnitte, der anderen mit seinem Querschnitte an, und die Ablenkung durch den Strom des ruhenden Nerven betrug dann anfangs $2—3,5^{sc}$; so dass der Widerstand der Nervenstrecke schon wesentlich verkleinert resp. vergrössert erscheinen musste, je nachdem der Nervenstrom und der prüfende Strom im Nerven gleich oder entgegengesetzt gerichtet waren. Indessen übersieht man sofort, dass durch unsere Versuchsweise, indem wir mit der Stromrichtung bei den Prüfungen abwechselten, diese Fehlerquelle unschädlich gemacht sein musste. In der That hat in Versuchen, wie Vers. 77. und Vers. 90 *B.*, besonders bei den ersten Bestimmungen des Widerstandes die erforderliche Schieberstellung bei der einen Stromrichtung etwas grösser als bei der anderen sich ergeben: doch war, indem man das Mittel aus beiden Schieberstellungen nahm, der Fehler mit ausreichender Genauigkeit ohne Weiteres beseitigt.

Wir kommen zur letzten Fehlerquelle der Versuche, den Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Durchströmung. Von diesen liess schon von vornherein sich sagen, dass sie durch die kurze Dauer und die wechselnde Richtung der Durchströmungen, ausserdem auch, wie hinzugefügt werden kann, durch deren Seltenheit auf das möglichst geringe Mass beschränkt sein mussten; nunmehr aber zeigt sich gar, dass sie als Fehlerquelle der Versuche ganz ohne Bedeutung gewesen sind. Trägt man nämlich für einen beliebigen Versuch auf eine Abscissenaxe, welche die Zeit seit der Auflagerung des Nerven bedeutet, als Ordinaten nur einen — nicht zu kleinen — Theil der bestimmten Widerstandswerthe der Nervenstrecke auf und verbindet man die Gipfelpunkte der Ordinaten in ihrer

zeitlichen Reihenfolge, so erhält man, gleichviel welche Widerstandsbestimmungen man verwandt und welche man ausser Acht gelassen hat, immer eine Curve von genau oder wenigstens im Wesentlichen gleicher Gestalt. Und construirt man ferner für jeden Versuch auf Grund aller Widerstandsbestimmungen desselben die Curve des Widerstandes der Nervenstrecke, bezogen auf die Zeit nach deren Auflagerung, so ergeben sich die Curven entsprechender Versuche d. h. solcher, welche unter möglichst gleichen Umständen und besonders an ohngefähr gleich lebensfähigen und gleich lange vom lebenden Gesammtorganismus getrennten Nerven bei gleicher Temperatur angestellt sind, von im Wesentlichen gleicher Gestalt, gleichviel wie verschieden in den Versuchen die prüfenden Bestimmungen der Zahl und der Zeit nach gewesen sind. Ja hin und wieder kommt es trotz dieser letzten Verschiedenheiten sogar vor, dass die Curven zweier entsprechender Versuche, auf dieselbe Abscissenaxe als Zeit bezogen, auf eine längere Strecke hin fast genau einander decken.

Die Bedeutungslosigkeit der in Rede stehenden Fehlerquelle lässt auch noch auf eine andere Weise sich darthun. Obwohl wir von den Ermittelungen des Kap. II. sonst hier nicht Gebrauch machen dürfen, weil wir die dort constatirten Widerstandsveränderungen gerade jetzt als von den Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit unabhängig zu erweisen vorhaben, dürfen wir doch auf Grund der beobachteten Formveränderungen des Nerven (s. Kap. II. § 11.) festhalten, dass neben der Abnahme des Widerstandes, die schon in Folge der Erwärmung allein zweifellos ist, auch eine Zunahme des Widerstandes der intrapolaren Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit durch die Durchströmung bedingt ist, und dass die durch den Strom in der einen Richtung an Flüssigkeit verarmten Nervenstellen weder durch den Strom in der umgekehrten Richtung noch auch nach der Durchströmung ihren früheren Flüssigkeitsgehalt ganz wiedererlangen. Und wenn das Letztere oben nur für den Fall längere Zeit andauernder Durchströmungen sich herausgestellt hat, so wird es als auch für die kurzen Durchströmungen unserer Versuche hier gültig unmittelbar dadurch bewiesen, dass man häufig nach der Beendigung der Versuche an den beiden den Zuleitungsröhren aufgelagerten Nervenstellen die Verengung deutlich ausgesprochen findet. Eliminiren wir nun die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Verarmung bei den prüfenden Durchströmungen unserer Versuche ganz oder wenigstens zu einem grossen Theile, so müssen, wofern die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke mit der Zeit, wie sie sonst zur Beobachtung kamen, irgend wesentlich von den Widerstandsveränderungen in Folge der Durchströmung beeinflusst waren oder auch nur die Widerstandszunahme und die Widerstandsabnahme in Folge des Stromes in

irgend beträchtlicher Grösse einander compensirt hatten, die neuen Versuchsergebnisse wesentlich von den früheren abweichen. Es müsste denn die Widerstandsabnahme in Folge des Stromes von sehr viel grösserem Einflusse als die Widerstandszunahme in Folge des Stromes, also überhaupt von grossem Einflusse auf die Ergebnisse unserer früheren Versuche gewesen sein: allein dies ist nicht nur a priori aus mehrfachen Gründen höchst unwahrscheinlich, sondern wird auch direct dadurch widerlegt, dass man den Widerstand der Nervenstrecke bei seinen Veränderungen mit der Zeit keine wesentlichen negativen Zuwächse erhalten sieht, wenn man an die Stelle der sonst durchweg seltenen Prüfungen für einige Zeit häufigere Prüfungen treten lässt.

Die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Verarmung lässt sich nun auf zweierlei Weise bei unseren Versuchen zu einem grossen Theile eliminiren. Man lagert nämlich nach den Erfahrungen des § 3. den Nerven mit zwei mittleren Stellen seines Verlaufes, statt gewöhnlichen Thonspitzen, solchen mit sehr stumpfen vorderen Kanten auf; oder man lagert nach dem, was wir weiter unten im Kap. V. erfahren werden, der einen von zwei gewöhnlichen Thonspitzen den Nerven mit einer mittleren Stelle seines Verlaufes auf und der anderen mit seiner Querschnittsfläche an. Versuche, mit diesen beiden Modificationen angestellt, liefern aber nur Ergebnisse, welche in nichts Wesentlichem von unseren anderweitigen Ergebnissen abweichen (vgl. Vers. 87. und 88.; — Vers. 77. und 90 *B*.).

Doch haben wir bis hierher die Widerstandsveränderungen in Folge der Durchströmung ausschliesslich insofern als Fehlerquelle betrachtet, als sie zu den Widerstandsveränderungen mit der Zeit sich hätten hinzufügen und diese, um welche wir uns bemühen, in Wahrheit hätten modificiren können: und sie verdienen noch von einer anderen Seite her Beachtung, indem sie die richtige Bestimmung des Widerstandes zu verhindern im Stande sind. Da die Widerstandsveränderungen in Folge der Durchströmung, wie es nach § 1. nicht zweifelhaft ist, mit der Schliessung der Kette und der Entstehung des Stromes im Nerven beginnen, muss, wie eine einfache Ueberlegung ergiebt, der Schieber, damit der Spiegel eine Weile nicht abgelenkt werde, eine solche Stellung haben, dass der zeitige Widerstand der Nervenstrecke, wenn er in Folge der Durchströmung zunimmt, uns zu gross und, wenn er abnimmt, uns zu klein und zwar um so mehr zu gross und zu klein erscheint, je rascher der Widerstand in Folge der Durchströmung sich verändert. Auf diesen Fehler wird man auch bald durch die Versuche selbst aufmerksam, und er beschränkt sich dort glücklicher Weise von selbst. Sobald nämlich die Widerstandsveränderungen in Folge der Durchströmung einigermassen rasch erfolgen, gelingt es überhaupt gar nicht mehr, den Spiegel selbst nur auf Secunden an seine Ruhe-

lage zu fesseln, und man ist genöthigt, die Bestimmung des Widerstandes durch das Mittel aus den Ergebnissen zweier Prüfungen zu gewinnen, von welchen, nach der sofortigen Ablenkung des Spiegels nach der Schliessung der Kette zu urtheilen, das eine den Widerstand der Nervenstrecke ein wenig zu gross und das andere denselben ein wenig zu klein vorführt. Dadurch ist dann der Fehler immer auf die möglichst geringe Grösse herabgedrückt, indem nur noch die Differenzen der Anfangsgeschwindigkeiten der Widerstandsveränderungen ihn bedingen.

Wie gross nun der Fehler schlimmsten Falls sein könnte, lässt sich durch Versuche mit einer scharfen und einer stumpfen Thonspitzenkante, welchen mittlere Nervenstellen aufgelagert sind, oder durch Versuche mit gewöhnlichen Thonspitzen, welchen eine mittlere Stelle und eine Querschnittsfläche des Nerven anliegen, unmittelbar nachweisen. Wir wollen uns an die letzteren Versuche halten, weil sie in grösserer Zahl vorliegen. Im Kap. V. werden wir den Widerstand der Nervenstrecke, wenn der Strom durch die Querschnittsfläche in sie eintritt, nach der Schliessung der Kette stets abnehmen sehen; und in (1) haben wir erfahren, dass, wenn der Strom an der mittleren Stelle in den Nerven eintritt, die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke dann am grössten ist, wenn der specifische Widerstand der Nervenstrecke mit der Zeit sein Maximum erreicht hat. Der in Rede stehende Fehler muss daher es bedingen, wie man bald übersieht, dass der Widerstand der Nervenstrecke kleiner erscheint, wenn der Strom am Querschnitte, als wenn er an der mittleren Stelle in die Nervenstrecke eintritt, und dass diese Differenz der Widerstandsbestimmungen am grössten ist, wenn der Widerstand der Nervenstrecke mit der Zeit sein Maximum erreicht hat. Von den hierhergehörigen Versuchen haben nur die einen gar keine solche Differenz ergeben, die anderen nur um die Zeit des Maximums des Widerstandes; und zwar hat alsdann die Differenz meist 10—15^{mm} und nur in einem einzigen Versuche bis 40^{mm} in der Schieberstellung betragen. Also höchstens 40^{mm} würden schlimmsten Falls bei unseren Versuchen in der des Genaueren nach unseren Erfahrungen in (1) sich ergebenden Weise von der grossen Schieberverstellung, welche die Widerstandszunahme in den am längsten ausgedehnten Versuchen anzeigt, in Abzug zu bringen sein.

Nach allem Diesem ist als Gesammtergebniss der Untersuchung der Fehlerquellen auszusprechen, dass nach Abzug derjenigen Widerstandsveränderungen, welche durch die anfängliche Zunahme der Nerventemperatur und durch die späteren Schwankungen derselben mit der Zimmertemperatur bedingt sind, die in unseren Versuchen zur Beobachtung gekommenen Widerstandsveränderungen ohne wesentliche Fehler die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke mit der Zeit repräsentiren.

Nur wenn man den zuletzt besprochenen Fehler nicht vernachlässigen zu dürfen glaubt, wird man noch die Curve des Widerstandes, bezogen auf die Zeit, in jedem ansteigenden wie absteigenden Aste etwas weniger steil — concaver resp. convexer gegen die Abscissenaxe — anzunehmen haben, als die Versuche unmittelbar sie ergeben.

Schon eine flüchtige Durchsicht unserer Versuche lässt nunmehr die überraschend grosse Uebereinstimmung der neuen Versuchsergebnisse mit unseren Ergebnissen in (1), welche die Zuverlässigkeit beider Untersuchungen verbürgt, nicht verkennen. In der That sind die Abweichungen der Ergebnisse beider Untersuchungen im Ganzen geringer, als die Abweichungen der Ergebnisse in den verschiedenen Versuchen jeder einzelnen Untersuchung unter einander. Den letzteren Abweichungen bei den Versuchen dieser Nummer wollen wir jetzt mit der genaueren Betrachtung der Versuche nachgehen, und wir werden dann zum Schlusse auf unsere Ermittelungen in (1) wieder zurückkommen.

(3.) Von der Abhängigkeit der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit von verschiedenen Umständen — und von den inneren Vorgängen im Nerven, welche seine Widerstandsveränderungen mit der Zeit bedingen.

Die Mannigfaltigkeit in den Ergebnissen der Versuche von (2) kann begreiflich nur darin begründet sein, dass die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke mit der Zeit von verschiedenen Bedingungen abhängig sind und diese Bedingungen in unseren Versuchen vielfach variirt waren. Ist es ja auch längst bekannt, dass auf das Absterben einer Nervenstrecke von wesentlichem Einflusse sind die Gesundheit des Thieres, die Lebensfähigkeit des Nerven, die Temperatur, die Nähe des Querschnittes, das Verbleiben des Nerven im Schenkel u. s. w. In Rücksicht auf diese Bedingungen müssen wir also unsere Versuche durchmustern.

Bei dem Nerven eines gesunden Thieres nimmt, wie sich alsdann zeigt, der specifische Widerstand der betrachteten Nervenstrecke sogleich nach der Trennung des Nerven vom lebenden Gesammtorganismus mit verzögerter Geschwindigkeit bis zu einem Maximum zu, und dieser anfänglichen Zunahme folgt entweder unmittelbar oder, indem eine unbeträchtliche Abnahme des Widerstandes mit anfangs zunehmender und später abnehmender Geschwindigkeit dazwischenfällt, mittelbar eine zweite Zunahme des Widerstandes mit beschleunigter Geschwindigkeit nach. Diese beschleunigte Zunahme dauert, ebenso wie die ihr etwa voraufgegangene Abnahme, immer verhältnissmässig nur kurze Zeit an und geht in eine verzögerte Zunahme von viel längerer Dauer über. Mit der letzteren erreicht der Wi-

derstand der Nervenstrecke ein zweites Maximum und nimmt von diesem aus schliesslich mit anfangs zunehmender und später abnehmender Geschwindigkeit ab. Das erste Maximum ist nur wenig, das zweite aber sehr beträchtlich grösser als der ursprüngliche Widerstand der Nervenstrecke.

Mit der Lebensfähigkeit des Nerven werden die Grösse und die Dauer der anfänglichen Zunahme des Widerstandes, wie auch die Gesammtdauer der Widerstandsveränderungen, bis der Widerstand sein zweites Maximum erreicht, kleiner; die Steilheit der Gesammtzunahme des Widerstandes wird dagegen mit der Abnahme der Lebensfähigkeit des Nerven grösser.

Der Nerv eines kranken Thieres erweist sich als Nerv geringster Lebensfähigkeit, bei welchem die anfängliche Zunahme und die darauffolgende beschleunigte Abnahme des Widerstandes auf Null reducirt sind.

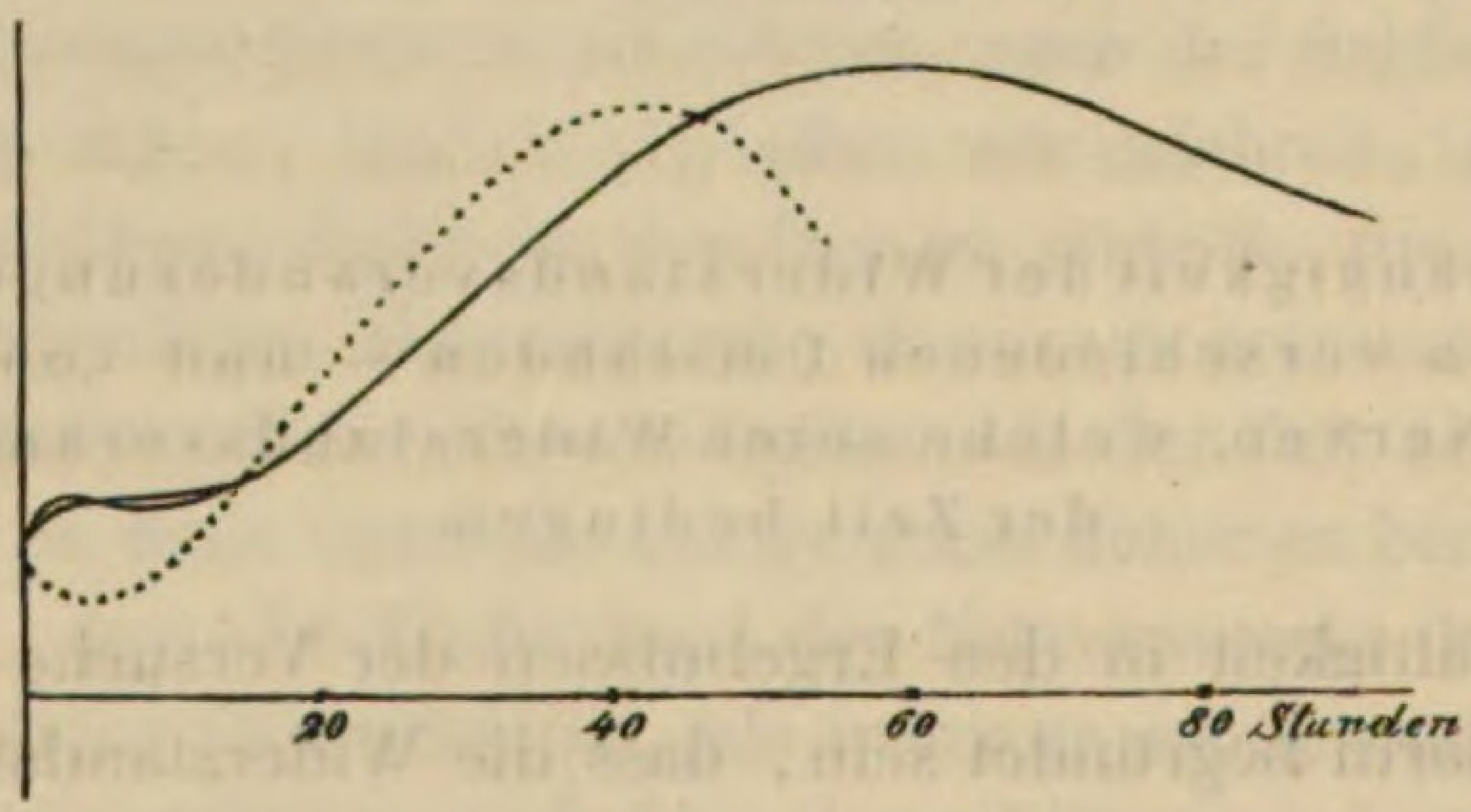


Fig. 16.

Der Widerstand der betrachteten Nervenstrecke nimmt hier unmittelbar nach der Trennung des Nerven vom lebenden Gesammtorganismus mit abnehmender Geschwindigkeit ab, wächst darauf mit anfangs beschleunigter und später verzögerter Geschwindigkeit bis zu einem Maximum, das den ursprünglichen Widerstand weit übertrifft, und wird von diesem aus schliesslich mit anfangs zunehmender und später abnehmender Geschwindigkeit kleiner. Wiederum ist die Dauer der anfänglichen Abnahme wie der nachfolgenden beschleunigten Zunahme des Widerstandes nur klein gegenüber der Dauer der verzögerten Zunahme des Widerstandes. Die anfängliche Abnahme des Widerstandes ist aber beträchtlicher als die erste Abnahme bei dem Nerven eines gesunden Thieres; auch ist die Gesammtdauer der Widerstandsveränderungen bis zum Maximum hier wesentlich kleiner und die Steilheit der Gesammtzunahme des Widerstandes hier wesentlich grösser.

Dies sind die ersten und vornehmlichsten Erfahrungen, welche aus der neuen Betrachtung der Versuche ohne Schwierigkeit sich erge-

ben[1]. Und wenn man so die erste Abnahme des Widerstandes (oder die Grenze zwischen seiner anfänglichen verzögerten und seiner folgenden beschleunigten Zunahme) von einem Versuche zum anderen gegen die Widerstandszunahme (resp. nach dieser oder jener Seite hin der Zeit nach) sich verschieben sieht, drängt sich naturgemäss die Vorstellung auf: dass bei den Veränderungen des Nerven mit der Zeit, bis der Widerstand sein (zweites) Maximum erreicht, zweierlei innere Vorgänge im Nerven im Spiele sind, welche den Widerstand in entgegengesetzter Weise beeinflussen; und dass, weil beide Vorgänge mit der Lebensfähigkeit des Nerven in ungleicher Weise sich verändern, die Abnahme des Widerstandes in Folge des einen Vorganges bald früher bald später, bald mehr bald weniger, bald auf kürzere bald auf längere Zeit über die Zunahme des Widerstandes in Folge des anderen Vorganges die Oberhand gewinnt. Auf Grund dieser Vorstellung ist dann aus den Versuchsergebnissen abzuleiten, dass der die Abnahme des Widerstandes bedingende Vorgang wesentlich anders nach der Trennung des Nerven verläuft als der die Zunahme des Widerstanbedingende Vorgang, und dass mit der Abnahme der Lebensfähigkeit beide Vorgänge in ihrem Ablaufe nach der Trennung des Nerven eine Beschleunigung erfahren, der den Widerstand vermindernde Vorgang aber eine grössere Beschleunigung als der den Widerstand vermehrende Vorgang.

Unsere naturgemäss sich aufdrängende Vorstellung ist nun leicht auch als unabweislich darzuthun. Wollte man einen einzigen Vorgang im Nerven als Ursache der in Rede stehenden Widerstandsveränderungen festhalten, so müsste man ihn nach der Trennung des Nerven entweder eine abwechselnde Aus- und Zurückbildung erfahren oder stets in einem Sinne sich verändern lassen. Die erste Annahme ist hier, wo es um die Veränderungen des Nerven einzig und allein mit der Zeit nach seiner Trennung vom lebenden Gesammtorganismus sich handelt, offenbar absurd. Und was die zweite Annahme betrifft, so ist bisher kein Fall bekannt, in welchem mit einer stets in demselben Sinne erfolgenden Veränderung der Widerstand eines Körpers erst zunähme, dann abnähme und darauf wieder zu-

1) Eine graphische Darstellung derselben giebt Fig. 16., für welche alles von der Fig. 15. oben S. 202—3. Gesagte gleichfalls gültig ist, nur dass die Abscissenaxe der Fig. 16. die Zeit nicht nach dem Tode des Thieres, sondern nach der Trennung des Nerven vom lebenden Gesammtorganismus bedeutet. Die beiden Anfänge der ausgezogenen Curve zeigen die extremen zur Beobachtung gekommenen Variationen an. — Ueber die Vers. 83. und 90., welche in ihren Anfängen Ausnahmen von dem oben im Texte angegebenen Verhalten darstellen, s. u. § 7 (5). — Der Vers. 93. ist nur für den Vergleich in (4) hierhergesetzt, weil in ihm die grösste — und zwar eine wesentlich grössere als in den sonstigen Versuchen — anfängliche Zunahme des Widerstandes zur Beobachtung gekommen ist.

nähme. Am nächsten kommt noch das Verhalten der Lösungen gewisser Salze in Wasser, indem deren Widerstand mit wachsendem Salzgehalte zuerst diesem proportional abnimmt, darauf einem Minimum sich nähert und zuletzt zunimmt[1]. Aber dieser Fall ist offenbar noch sehr weit von dem unserigen entfernt, und es wird um so weniger gestattet sein, für die Wirkung eines supponirten einzelnen Vorganges im Nerven auf dessen Widerstand etwas sonst Unbekanntes in Anspruch zu nehmen, als es bei der verwickelten chemischen Constitution des Nerven nur zu gut denkbar ist, dass im Nerven neben einander zwei Vorgänge Platz greifen, welche seinen Widerstand in entgegengesetztem Sinne verändern.

Es hält schwer, hier nicht sogleich an die Angaben *Funke's* zu denken, nach welchen »die Nerven im Leben, sobald keine anstrengende Thätigkeit vorausgegangen, neutral reagiren, nach dem Tode aber in Folge einer chemischen Zersetzung sauer werden[2]«, und die Identität des Sauerwerdens des Nerven mit unserem den Widerstand verringernden Vorgange in demselben zu vermuthen. »Höchst wahrscheinlich«, fügt allerdings *Funke* hinzu, »beginnt auch bei ihnen der Säuerungsprocess mit dem Verluste der Leistungsfähigkeit, welcher sich freilich nicht durch ein so leicht controlirbares Merkmal, wie bei den Muskeln durch die Todtenstarre und das Aufhören der Contractionen beurkundet.« Allein da diese letzte Bemerkung sich nicht auf Erfahrungen stützt, wird die Möglichkeit jener Identität, trotzdem dass unser den Widerstand verringernder Vorgang, wie wir in (5) sehen werden, dem Verluste der Leistungsfähigkeit immer voraufgeht, wohl im Auge behalten werden müssen. Besondere Untersuchungen in dieser Richtung haben sich indessen leider nicht ausführen lassen, da es nicht einmal geglückt ist, von dem Sauerwerden des Nerven überhaupt volle Ueberzeugung zu gewinnen.

Bestimmteres sind wir dafür auszusagen im Stande hinsichts des anderen Vorganges im Nerven, der eine Zunahme seines Widerstandes bedingt.

Während vom Gehirne und Rückenmarke es längst bekannt ist, dass sie einige Zeit nach dem Tode des Thieres an Consistenz zunehmen, ist das Gleiche für den Nerven noch nicht constatirt, und man weiss von diesem nur durch mikroskopische Untersuchungen, dass nach seiner Isolirung in den ihn constituirenden Fasern der Inhalt eine Veränderung erfährt, welche man fast allgemein als Gerinnung bezeichnete und demnach mit einer Con-

1) *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 207*; Bd. II. S. 1063 ff.*

2) *O. Funke*, Ueber die Reaction der Nervensubstanz. Berichte der Sächsischen Akad. d. Wiss. Mathem.-phys. Classe. 1859. S. 167 ff.*; *Reichert's* und *du Bois-Reymond's* Archiv u. s. w. 1859. S. 839—41*.

sistenzvermehrung verbunden dachte[1]. In der That lässt sich aber auch an dem Nerven ohne die hier zweifelhafte Hülfe des Mikroskops eine Zu-

1) So glaubte ich die vorliegenden Erfahrungen schon möglichst zu Gunsten einer Consistenzzunahme des Nerven zusammengefasst zu haben, als ich neuerdings bei dem wiederholten Nachschlagen des vorstehenden Citates fand, dass *Funke* im Eingange der Abhandlung, wo er von der Uebereinstimmung der Nerven und der Muskeln in ihrem physikalischen, chemischen und physiologischen Verhalten handelt, Folgendes sagt: »Ich erinnere endlich an die mannichfache chemische Uebereinstimmung beider, welche sich theils in der fast vollständigen Identität der Producte ihres lebendigen Stoffwechsels . . . ausspricht, theils durch die bei beiden nachgewiesene Coincidenz des Verlustes der Leistungsfähigkeit mit der spontanen Gerinnung eines eiweissartigen Bestandtheils bestätigt wird, u. s. w.« (Berichte, S. 161*; Archiv, S. 836*.). Dies hat mich bei der Bedeutung, welche ich den in diesem und den folgenden §§ niedergelegten Erfahrungen über die Consistenzzunahme des Nerven mit Recht zuschreiben zu dürfen glaubte, dazu veranlasst, wiederholt die Literatur der Gerinnung des Nerven zu studiren, und ich muss danach mit aller Bestimmtheit erklären, dass *Funke* an jener Stelle — wohl durch eine momentane Analogiesucht — zu einem zur Zeit ganz unbegründeten Ausspruche veranlasst worden ist. Von den durch das Mikroskop wahrnehmbaren Veränderungen des Nerven hat man zweierlei als Gerinnung bezeichnet: 1) ist von denen, welche die Präexistenz des Axencylinders läugneten, der Axencylinder selbst als Gerinnungsproduct aufgefasst worden; und 2) ist von den anderen, welche die Präexistenz des Axencylinders behaupteten, der Veränderung des Aussehens des eigentlichen Nervenmarkes eine Gerinnung hyothetisch zu Grunde gelegt worden. (Eine gute und umfassende Erörterung findet man in: *A. Kölliker*, Mikroskopische Anatomie u. s. w. Bd. II. Erste Hälfte. Leipzig 1850. S. 392—404*. — Vgl. auch *R. Virchow*, Die Cellularpathologie u. s. w. Zweite Auflage. Berlin 1859. S. 210*.). Daneben ist dann aber nur noch die Consistenzzunahme des Gehirnes und des Rückenmarkes bekannt gewesen. Die hierhergehörige Angabe von *du Bois-Reymond* ist unten S. 229. citirt. Und *Gorup-Besanez* (Lehrbuch der Chemie. Bd. III. Braunschweig 1862.) sagt: »Ob das im todten Gehirn und Nerven unlöslich gefundene Albuminat auch während des Lebens bereits geronnen ist, kann als vorläufig noch unentschieden gelten. Es scheint keine Thatsache mit Entschiedenheit dagegen zu sprechen, dass in den Nerven während des Lebens ein syntoninähnlicher gelöster Stoff enthalten wäre, welcher erst nach dem Tode gerönne.« (S. 625*). . . . »Diese Reactionsverschiedenheit (sc. der lebenden ruhenden und der thätigen oder todten Nerven) ist in doppelter Beziehung bemerkenswerth, einmal weil sie eine gewisse Analogie des Verhaltens von Muskel- und Nervengewebe constatirt, und dann weil sie auf einen dabei stattfindenden chemischen Process hinweist, der möglicherweise ein ähnlicher sein könnte, wie derjenige, welcher bei der Gerinnung des Syntonins stattfindet, wo auch gleichzeitig damit die Säuerung des Muskels einzutreten scheint; diese Möglichkeit gewinnt dadurch an Bedeutung, dass wirklich Gründe dafür sprechen, dass die Nervenmasse einen dem Syntonin wenigstens ähnlichen Körper enthalte, der während des Lebens in Lösung ist, nach dem Tode aber eine Art Gerinnung erfährt, die von der Abspaltung einer freien Säure begleitet sein könnte. Besonders auffallend ist das Hartwerden beim Kochen von grauer Substanz (sc. des Gehirns). Sowohl diese Erscheinung, wie auch die Vermehrung der Consistenz des Gehirns einige Zeit nach dem Tode spricht für eine erfolgende Gerinnung eines Gehirn- und Nervenbestandtheiles« (S. 626*). In diesen nach der *Funke*'schen Abhandlung geschriebenen Worten ist der zeitige Stand der Dinge treffend dargelegt.

Wie wenig *Funke* zu seinem Ausspruche berechtigt war, mögen endlich noch einige Citate aus später erschienenen Lehrbüchern erweisen. *L. Hermann*, Grundriss der Physiologie des Menschen. Berlin 1863. S. 235—6*: »Der Inhalt, im frischen Zustande wie es scheint homogen, zerfällt durch die meisten Einflüsse nach dem Tode in . . . Axencylinder und . . . Nervenmark. . . . Das Absterben des Nerven ist nicht wie beim Muskel durch einen Gerinnungsprocess markirt; es giebt sich nur zu erkennen durch das Aufhören des Nervenstromes, den Verlust der Erregbarkeit und das Auftreten saurer Reaction.« *W. Wundt*, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Erlangen 1865. S. 43—4*.: »Nach dem Tode sondert sich die Marksubstanz deutlich sowohl von dem

nahme seiner Consistenz feststellen, wenn man ihn nur ausreichend spät nach dem Tode des Thieres oder nach seiner Trennung vom lebenden Gesammtorganismus genau untersucht: der anfangs helle, glänzende und wie ein weiches Band faltbare Nerv ist alsdann trübe und matt geworden und gleichsam erstarrt, so dass man bei dem Versuche, ihn zu falten, auf einen viel grösseren Widerstand stösst und hohe Faltungsbögen stehen bleiben.

An dem unmittelbar nach dem Tode des Thieres in den feuchten Raum eingebrachten Nerven ist die Consistenzzunahme schon lange vorher deutlich, ehe der Widerstand der geprüften Nervenstrecke bei seinen Veränderungen mit der Zeit sein (zweites) Maximum erreicht, und um die Zeit dieses Maximums stets ganz auffällig; etwa 24 Stunden später ist die Consistenz des Nerven wieder deutlich geringer. Und vergleicht man häufig die Consistenzveränderungen an den beiden Nerven desselben Thieres, von welchen man den einen im feuchten Raume gehalten, dem anderen aber seine unversehrte Lage im Schenkel gelassen hat, so ergeben sich bei beiden die nämlichen Consistenzveränderungen, nur dass die Consistenzzunahme und die nachfolgende Consistenzabnahme bei dem im feuchten Raume befindlichen Nerven früher, oft sogar viel früher deutlich sind als

Axencylinder als von der Primitivscheide, indem sie unregelmässig wulstförmige Massen bildet. Man nennt diese Erscheinung die Gerinnung des Markes; sie beruht sehr wahrscheinlich darauf, dass ein Theil der während des Lebens flüssigen Fette des Markes nach dem Tode in einen festeren Zustand übergeht.« Hören wir endlich *Funke* selbst (Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Dritte Auflage. Leipzig 1860.)! »... es scheint viel natürlicher, die Achsenfaser als ein Product der augenscheinlich in der aus dem lebenden Organismus entfernten Faser vor sich gehenden Zersetzung, welche die doppelten Contouren und die krümliche Trübung des Markes erzeugt, anzusehen. .. Fast überall findet man die fragliche Veränderung ... schlechthin als eine »Gerinnung« des Nervenmarkes bezeichnet, eine Bezeichnung, welche nur von einer oberflächlichen Aehnlichkeit der Erscheinung mit wirklichen Gerinnungsvorgängen hergeleitet, in Wirklichkeit aber nur dann gerechtfertigt ist, wenn wir die Ausscheidung einer unlöslichen Proteinverbindung in Form der Achsenfaser als den Gerinnungsact bezeichnen. In dem übrigen Theile des Nerveninhalts, in der Markscheide, findet keine nachweisbare Gerinnung statt, wenn wir mit diesem Namen den Uebergang einer gelösten Eiweisssubstanz in den festen Zustand belegen. ... Wir glauben daher, dass ... in der ausgeschnittenen Nervenröhre jene Zersetzung eintritt, in Folge deren ein eiweissartiges Element der Lösung als centraler Strang sich consolidirt, in der übrig bleibenden Mischung das Fett frei wird, indem es von einem zweiten in Lösung bleibenden Eiweisskörper sich abscheidet« (S. 586*). »Die Erscheinungen der Zersetzung des Nervenröhreninhaltes, die wir als Trennung von Achsencylinder und Markscheide und als Fettausscheidung in letzterer beschrieben haben, sind es, welche den Tod des Nerven bezeichnen und dessen nächste Ursache sind« (S. 614*). »... bildet diese Mischung nach meinem Dafürhalten in der lebendigen Nervenfaser eine homogene Lösung, welche sich erst im todten Nerven unter äusseren Einflüssen in der Weise zersetzt, dass einzelne chemische Elemente in unlöslicher Form sich ausscheiden, und dadurch die Trennung des Inhaltes in Axencylinder und Mark, sowie die krümliche Trübung des letzteren bedingen« (S. 637*). — Nebenbei geben diese Citate einen guten Begriff von der mannigfachen und willkürlichen Auslegung, welche die mikroskopisch wahrnehmbaren Veränderungen des Nerveninhaltes gefunden haben.

bei dem anderen Nerven. Bei diesem letzteren ist die Consistenzvermehrung in der Regel recht auffällig, wenn der Schenkel schon einige Zeit in die Fäulniss eingetreten ist; und um die Consistenz des Nerven wieder deutlich verringert zu finden, muss man den Schenkel meist in einen solchen Zustand gerathen lassen, dass man nur noch schwer zur Untersuchung des Nerven sich entschliesst.

Die Consistenzzunahme des Nerven muss nun in der Consistenzzunahme der Nervenflüssigkeit begründet sein, und damit sind wir auf unseren den Widerstand vermehrenden Vorgang im Nerven gestossen. Die Erfahrung, dass die Kraft, mit welcher der galvanische Strom verschieden concentrirte Salzlösungen durch eine Thonwand fortführt, unter sonst gleichen Umständen innerhalb gewisser Grenzen den specifischen Widerständen der Lösungen proportional ist (s. o. S. 7.), hat *Wiedemann* zu der Ansicht geführt[1], dass neben dem Salzgehalte noch die Zähigkeit der Lösungen von wesentlichem Einflusse auf deren Widerstand ist, indem die Bewegungshindernisse, welche die Bestandtheile der Lösung bei ihrer Verschiebung treffen, mit der Zähigkeit der Lösung wachsen müssen und in dieser ein, wenngleich nur unvollkommenes Mass finden können. In dem vorhin erwähnten Auftreten eines Minimums des Widerstandes beim Wachsen der Concentration von Salzlösungen findet die Ansicht eine wesentliche Stütze, und in der That hat in den von *Wiedemann* angestellten Versuchen der Widerstand verdünnter Lösungen ausreichend genau direct proportional ihrer Zähigkeit und umgekehrt proportional ihrem Salzgehalte sich erwiesen. Sind nun auch gewiss noch weitere Untersuchungen über die Beziehungen der Zähigkeit zum Leitungswiderstande erforderlich, so scheinen doch Zweifel an der aufgestellten (und neuerdings auch von *Beetz*[2] anerkannten) Bedeutung der Zähigkeit für den Widerstand überhaupt schon jetzt nicht mehr gut möglich, und wir werden in der aufgefundenen Consistenzzunahme der Nervenflüssigkeit den vorher erschlossenen den Widerstand vermehrenden Vorgang im Nerven anerkennen dürfen.

Was wir über die Beziehungen der Consistenzzunahme zu dem Eintritte des Maximums des Widerstandes an dem unmittelbar nach dem Tode des Thieres in den feuchten Raum eingebrachten Nerven ermittelt haben, stimmt damit vortrefflich, und es ist nunmehr von Interesse die Untersuchung, ob auch bei dem nach dem Tode des Thieres in seiner unversehrten

1) *G. Wiedemann*, Ueber die Bewegung der Flüssigkeiten im Kreise der geschlossenen galvanischen Säule u. s. w. *Poggendorff's* Annalen u. s. w. Bd. 99 (1856). S. 215 ff.* — *Ders.*, Die Lehre vom Galvanismus u. s. w. Bd. I. S. 424 ff.*; Bd. II. S. 1063 ff.*

2) *W. Beetz*, Ueber das elektrische Leitungsvermögen der Flüssigkeiten. *Poggendorff's* Annalen u. s. w. Bd. 117 (1862). S. 16—19*.

Lage im Schenkel verbliebenen Nerven dieselben Beziehungen obwalten. Bei diesem letzteren Nerven haben wir eine Verzögerung der Consistenzzunahme gegen den ersteren Nerven aufgefunden, und es wäre somit auch eine Verzögerung des Maximums des Widerstandes zu erwarten. In der That ist dies der Fall. Bringt man, nachdem an einer geprüften Nervenstrecke des im feuchten Raume aufbewahrten ersten Nerven eines Thieres das Maximum des Widerstandes schon mehr oder weniger lange, aber nur nicht gar zu lange vorüber ist, den bis dahin in seiner unversehrten Lage im Schenkel erhaltenen zweiten Nerven desselben Thieres in den feuchten Raum, so sieht man den Widerstand der analogen Nervenstrecke zuerst noch eine kürzere oder längere Zeit hindurch mit abnehmender Geschwindigkeit zunehmen und darauf erst abnehmen. Aber noch mehr: ist die Consistenz des zweiten Nerven zur Zeit seiner Präparation noch nicht auffallend, sondern nur deutlich gegen den frischen Nerven vergrössert, so nehmen darauf der Widerstand noch sehr beträchtlich und die Consistenz noch merklich zu; ist aber die Consistenz des zweiten Nerven zur Zeit der Präparation schon recht auffallend vergrössert, so ist nicht nur die Widerstandszunahme unbeträchtlich, sondern es lässt sich auch eine weitere Vermehrung der Consistenz, wenn der Widerstand sein Maximum erreicht hat, nicht feststellen.

Die Verfolgung des den Widerstand vermehrenden Vorganges hat uns so auf eine neue Abhängigkeit der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke mit der Zeit und der sie bedingenden inneren Vorgänge im Nerven geführt, auf ihre Abhängigkeit, um sie so zu bezeichnen, von dem Verbleib des Nerven nach dem Tode des Gesammtorganismus. Wir haben erfahren, dass bei dem im Schenkel verbliebenen Nerven das Maximum des Widerstandes später eintritt und somit der den Widerstand vermehrende Vorgang langsamer abläuft, als bei dem sogleich in den feuchten Raum eingebrachten Nerven desselben Thieres. Aber auch der den Widerstand vermindernde Vorgang erfährt bei dem ersteren Nerven eine Verzögerung dem letzteren Nerven gegenüber: denn es kommt bei kranken Thieren auch an dem erst spät isolirten Nerven, wenn man nur nicht zu lange gewartet hat, noch eine anfängliche Abnahme des Widerstandes zur Beobachtung (Vers. 92.). Bemerkenswerth ist dann noch die Erfahrung, dass die Widerstandszunahme bei dem erst längere Zeit nach dem Tode des Thieres isolirten Nerven in der ersten Zeit steiler und oft viel steiler verläuft, als zu irgend einer Zeit bei dem sogleich nach dem Tode des Thieres in den feuchten Raum eingebrachten Nerven. Es scheint daraus zu entnehmen zu sein — und auch die alsdann rasche Consistenzzunahme des Nerven lässt sich dafür geltend machen —, dass die anfängliche Verzögerung des den Widerstand vermehrenden Vorganges, falls der Nerv doch noch isolirt

wird, eine nur um so grössere nachträgliche Beschleunigung des Vorganges nach sich zieht; so dass die Nervenflüssigkeit des im Schenkel verbliebenen Nerven Aehnlichkeiten bieten würde mit vorsichtig unter Null erkaltetem Wasser, das bekannter Massen bei der ersten Erschütterung plötzlich in seiner ganzen Masse erstarrt.

In Betreff der Temperatur lehrt die Durchsicht der gesammten, bei 16—27° C. angestellten Versuche, dass ihr Wachsen eine Beschleunigung des Ablaufes beider Vorgänge im Nerven herbeiführt. Ist eine Querschnittsfläche des Nerven an der geprüften Nervenstrecke vorhanden, so scheint dadurch für diese Strecke gleichfalls eine Beschleunigung beider Vorgänge herbeigeführt zu sein. Jedoch tritt der Einfluss des Querschnittes überhaupt nur in einem Theile der betreffenden Versuche hervor, in dem anderen Theile macht sich ein solcher Einfluss gar nicht besonders bemerklich.

Dies sind die verhältnissmässig spärlichen Ergebnisse der lang ausgedehnten Untersuchung, und dabei kann sogar die grössere Beschleunigung des den Widerstand vermindernden Vorganges, welche wir als Folge der Abnahme der Lebensfähigkeit erschlossen haben, zunächst nur als wahrscheinlich gelten. Denn es wird der Aufmerksamkeit nicht entgangen sein, dass nirgends genauere Angaben über die Grösse und den Verlauf der Vorgänge, welche im Nerven mit der Zeit statthaben, sich haben machen lassen; und es ist wohl möglich, dass der grösseren Widerstandsabnahme, auf welche wir bei wenig lebensfähigen Nerven gestossen sind, auch eine beträchtlichere Grösse des den Widerstand vermindernden Vorganges zu Grunde liegt. Was eine bessere Einsicht vornehmlich erschwert, ist, dass die zur Beobachtung kommenden Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke aus den Widerstandsveränderungen aller die Nervenstrecke bildenden kleinsten Nervenabschnitte oder Nervenquerschnitte sich zusammensetzen und der Ablauf der mit der Zeit im Nerven statthabenden Vorgänge vielleicht bei dem im Schenkel verbliebenen Nerven, sicherlich aber nicht, wie aus gewissen Thatsachen hervorgeht[1], bei dem isolirten Nerven in allen Querschnitten der Nervenstrecke ein gleichmässiger und gleichzeitiger ist. Dazu kommt dann, dass bei der Untersuchung, weil ein jeder Versuch für sich eine lange Zeit in Anspruch nimmt, die die Widerstandsveränderungen beeinflussenden Umstände nur sehr schwer und unvollkommen sich beherrschen lassen. Diese Schwierigkeiten zu überwinden,

1) S. *H. Munk*, Untersuchungen über die Leitung der Erregung im Nerven. III. Abhandlung. *Reichert's* und *du Bois-Reymond's* Archiv u. s. w. 1862. S. 1 ff.

werden noch viel zahlreichere Versuchsreihen, als uns vorliegen, erforderlich sein[1].

Wir bescheiden uns und werfen nur noch einen Blick zurück auf unsere Ermittelungen in (1), soweit sie auf die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit sich beziehen. Die treffliche Uebereinstimmung der Versuchsergebnisse in (1) und (2), welche im Allgemeinen uns von vornherein auffiel, liegt nunmehr auch im Besonderen hinsichts der Abhängigkeit der Widerstandsveränderungen mit der Zeit von der Lebensfähigkeit des Nerven klar vor. Und die Abweichung von beiderlei Versuchsergebnissen lässt sich einfach auf das zurückführen, was wir aus den Versuchen von (2) allein schon erschlossen haben, dass der Ablauf der mit der Zeit nach dem Tode des Gesammtorganismus im Nerven statthabenden Vorgänge bei dem isolirten Nerven rascher erfolgt als bei dem im Schenkel verbliebenen Nerven. Nur weist die geringere Abnahme des Widerstandes, welche in den Versuchen von (2) zur Beobachtung gekommen ist, noch darauf hin, dass der den Widerstand vermindernde Vorgang entweder weniger beschleunigt wird durch die Isolirung des Nerven als der den Widerstand vermehrende Vorgang oder im isolirten Nerven gar nicht zu solcher Grösse gelangt wie in dem im Schenkel verbliebenen Nerven. Für die letztere Möglichkeit spricht, falls der den Widerstand vermindernde Vorgang mit dem Sauerwerden des Nerven identisch ist, dass man noch zur Zeit, wenn der Widerstand des im Schenkel verbliebenen Nerven (zum ersten Male) abnimmt oder nur sehr langsam zunimmt, die Umgebung des Nerven sauer reagirend findet, hier also zu der im Nerven selbst gebildeten Säure noch Säure von den Muskeln her durch Diffusion sich hat hinzufügen können. Man dürfte danach daran denken, dass die Säure im Nerven die Consistenzzunahme desselben verzögert, dass wegen der grösseren Menge der Säure die Verzögerung der Consistenzzunahme bei dem im Schenkel verbliebenen Nerven eine grössere ist, und dass bei dem spät isolirten Nerven die Consistenzzunahme deshalb so rasch, wie wir es oben S. 224. gefunden haben, erfolgt, weil die von aussen hinzukommende Säure, welche schliesslich allein oder doch hauptsächlich die Consistenzzunahme verzögert hatte, mit der Isolirung des Nerven plötzlich fortgefallen ist.

1) Wir wollen nicht unterlassen, darauf aufmerksam zu machen, dass bei den weiteren Versuchen aus den eben entwickelten Gründen besonders die Länge und die Lage der geprüften Nervenstrecke zu variiren sein werden.

(4.) Vergleich der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke bei und nach der Durchströmung einerseits und der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke mit der Zeit andererseits.

Mit den Versuchen von (2) ist das Material ausreichend uns gegeben für den Vergleich, welchen wir beabsichtigten, zwischen den Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke bei und nach der Durchströmung einerseits und den Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke mit der Zeit andererseits; und wir dürfen nicht zögern, ihn anzustellen.

Von vornherein übersieht man, dass von den dreierlei Widerstandsabnahmen, von welchen die eine nach der Umkehrung der Stromrichtung eintritt (Kap. II. § 4.), die zweite bei andauernder Durchströmung in Einer Richtung der anfänglichen Widerstandszunahme nachfolgt (Kap. II. § 6.) und die dritte nach dem Aufhören der Durchströmung statthat (Kap. II. § 9.), keine einzige als von den Widerstandsveränderungen mit der Zeit irgend wesentlich beeinflusst in Frage kommen kann. Denn nicht nur sind deren Grösse und deren Geschwindigkeit ungleich beträchtlicher gewesen als die der Widerstandsabnahme, welche hin und wieder mit der Zeit nach der Trennung des Nerven erfolgt, sondern sie sind auch zu den verschiedensten Zeiten nach dem Tode des Thieres oder nach der Trennung des Nerven vom lebenden Gesammtorganismus zur Beobachtung gekommen. Die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke mit der Zeit haben sie daher höchstens um ein Unbedeutendes grösser oder kleiner uns erscheinen lassen, als sie in Wahrheit waren.

Aber auch die Widerstandszunahme bei der Durchströmung, welche zuerst nach der Schliessung der Kette eintritt (Kap. II. § 1 [2]), verhält sich hinsichts ihrer Grösse und ihrer Geschwindigkeit zur Widerstandszunahme mit der Zeit derart, dass von einem irgend wesentlichen Einflusse der letzteren auf die erstere nicht die Rede sein kann. Wo es um einen längere Zeit nach dem Tode des Thieres im Schenkel verbliebenen Nerven sich handelt[1], ist jenes Verhältniss ohne jede Weiterung ersichtlich. Für den eben vom lebenden Gesammtorganismus getrennten Nerven aber muss man sich erinnern, dass nach § 4. die Widerstandszunahme bei der Durchströmung mit der Lebensfähigkeit des Nerven an Steilheit in ihrem Verlaufe gewinnt und mit eben demselben Umstande nach (3) auch die Grösse der anfänglichen Widerstandszunahme mit der Zeit nach der Trennung des Nerven wächst, und danach für den Vergleich nur an Nerven von ohngefähr gleicher Lebensfähigkeit sich halten[2]. Bei den Nerven geringer Le-

1) Vgl. die Vers. 5., 6. und 14. des Kap. II.

2) Vgl. die Vers. 3., 12., 18. und 19. des Kap. II. an sehr lebensfähigen Nerven und die Vers. 4., 7., 10., 11., 15., 16. und 20. des Kap. II. an weniger, zum Theil nur sehr

bensfähigkeit tritt an die Stelle der anfänglichen Zunahme eine anfängliche Abnahme des Widerstandes mit der Zeit; und wenn bei eben solchen Nerven der Zunahme bei der Durchströmung eine kurze Abnahme des Widerstandes voraufgeht[1], so ist an einen wesentlichen Einfluss der zeitlichen Veränderungen selbst bei dieser Abnahme nicht zu denken, weil sie in wenigen Minuten dieselbe Grösse gewinnt, wie jene Abnahme mit der Zeit in Stunden. Um die Widerstandsveränderungen in Folge der Durchströmung rein zu gewinnen, wird also bei den Nerven geringer Lebensfähigkeit nur eine ganz unbeträchtliche Abnahme, bei den anderen Nerven nur eine ganz unbeträchtliche Zunahme des Widerstandes von den nach der Schliessung der Kette beobachteten Widerstandsveränderungen in Abzug zu bringen sein.

Von der Widerstandszunahme, welche nach der Umkehrung der Stromrichtung der Widerstandsabnahme nachfolgt (Kap. II. § 4.), ist dasselbe wie von der eben behandelten Widerstandszunahme zu sagen: wo sie bei dem lebensfähigen und sogleich nach seiner Trennung vom lebenden Gesammtorganismus zum Versuche verwandten Nerven nach längerer Durchströmung desselben wesentlich kleiner als die Widerstandszunahme bei der ursprünglichen Stromrichtung ist, fällt sie auch meist in die Zeit, zu welcher die grössere anfängliche Zunahme des Widerstandes mit der Zeit bereits vorüber ist.

Es bleibt also nur noch die wiederholte Widerstandszunahme zu betrachten, welche bei andauernder Durchströmung in Einer Richtung der Widerstandsabnahme nachfolgt (Kap. II. § 6.). Auch für deren Unabhängigkeit von den zeitlichen Veränderungen lässt sich Manches geltend machen, freilich nicht vollkommen Beweisendes: unsere Untersuchung dieser Widerstandszunahme ist offenbar zu wenig ausgedehnt gewesen, als dass ausreichende Anhaltspunkte gewonnen wären. Da jedoch diese Widerstandszunahme nur ein ganz untergeordnetes Interesse uns bietet, wollen wir nicht länger bei ihr uns aufhalten und sie lieber denen, welche den betreffenden Erörterungen im § 7. des Kap. II. nicht beipflichten wollen, als vermeintliche Veränderung der Nervenstrecke mit der Zeit hier vorläufig preisgeben. Von dieser Zunahme aber abgesehen, ist der versprochene Nachweis nunmehr geliefert, dass die oben constatirten Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke bei und nach der Durchströmung in der Genauigkeit, mit welcher sie constatirt wurden, Folgen der Durchströmung gewesen sind.

Für denjenigen, der den Untersuchungen bisher sorgsam gefolgt ist,

wenig lebensfähigen Nerven; die Vers. 4., 7., 10., 11. und 16. sind an Nerven lange aufbewahrter Winterfrösche angestellt.

1) S. o. S. 135. und S. 197.

wird es dieses Nachweises sicher nicht mehr bedurft haben. Im § 2. des Kap. II., als wir eben erst in die Untersuchung eingetreten waren, konnte er uns nothwendig erscheinen. Seitdem aber hat das Studium zunächst der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke nach der Umkehrung der Stromrichtung und nach dem Aufhören der Durchströmung, dann der Gestaltsveränderungen des Nerven, endlich des Einflusses mehrerer Umstände auf die Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke auch ohne ihn die Gewissheit uns verschafft, dass im Wesentlichen nur Folgen der Durchströmung und nicht Veränderungen mit der Zeit überall oben im Kap. II. uns vorgelegen haben. Und seitdem hat auch durch die Ermittelungen des § 7. des Kap. II. unsere Auffassung der Beziehungen der Veränderungen mit der Zeit zu den Veränderungen bei der Durchströmung eine ganz andere werden müssen, welcher wir später Rechnung tragen werden [s. u. § 7 (3).].

(5.) Von den engeren Beziehungen der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit und der sie bedingenden inneren Vorgänge im Nerven zum Absterben des Nerven.

Endlich treten wir, nach Erledigung der früher eingegangenen Verpflichtungen, der Frage näher, welche oben (S. 204.) noch zu beantworten blieb, wie weit zur Zeit des Todes des Nerven dessen Widerstandsveränderungen mit der Zeit vorgeschritten sind.

»Mit der elektromotorischen Leistungsfähigkeit des Nerven«, sagt *du Bois-Reymond*, wo er von der natürlichen Grenze des Nervenstromes nach dem Tode handelt[1], »sinkt zugleich seine Fähigkeit, den Muskel zur Zuckung anzuregen; jene überdauert aber diese um eine gewisse Zeit; ihr gemeinschaftliches Ziel ist, aller Wahrscheinlichkeit nach, jene Veränderung des Inhaltes der Nervenröhren, welche man längst gleichfalls (sc. wie beim Muskel) als eine Gerinnung zu bezeichnen pflegt, und welche auch im Gehirn und Rückenmark einige Zeit nach dem Tode unzweifelhaft eine Vermehrung der Consistenz herbeiführt. Nerven, welche keinen Strom mehr entwickeln, zeigen unter dem Mikroskope stets schon diese Veränderung.« In diesen Worten sehen wir für den Standpunkt, welchen wir nach den voraufgegangenen Untersuchungen einnehmen, nicht nur unsere Frage selbst, sondern auch, worauf es für ihre Lösung ankommt, bereits vorgezeichnet.

Es trifft sich günstig, dass unsere Versuche von (2) neben dem Widerstande der Nervenstrecke zugleich noch deren (ruhenden) Nervenstrom und deren Leistungsfähigkeit in ihren Veränderungen mit der Zeit zu ver-

1) *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 284—5*.

folgen gestatten. Ueber das Verhalten des Nervenstromes verschafft man sich durch das Oeffnen des mit der Bussole verbundenen *du Bois*'schen Schlüssels ohne Schwierigkeit vor jeder Bestimmung des Widerstandes Auskunft; hinsichts der Leistungsfähigkeit kommt es hier darauf an, diejenige Bestimmung des Widerstandes festzustellen, bei welcher zum ersten Male kein Muskel des Schenkels und zwar bei keiner Stromrichtung mehr gezuckt hat, und man bedarf, wenn man nicht hin und wieder einige Prüfungen mehr soll vornehmen müssen, als die Widerstandsveränderungen für sich allein erfordern, zur Beobachtung des Schenkels eines Gehülfen.

In den oben S. 207 ff. beispielsweise mitgetheilten Versuchen bezeichnet überall, soweit darauf geachtet worden ist, das Sternchen in der Zeitspalte die erste Bestimmung des Widerstandes, bei welcher Muskelzuckung nicht mehr eingetreten ist. Man sieht, dass der Widerstand der Nervenstrecke zu der Zeit immer noch weit vom (zweiten) Maximum entfernt war, bei den Nerven der wenig lebensfähigen oder kranken Thiere aber auffallend viel weiter entfernt als bei den Nerven der sehr lebensfähigen Thiere. Allerdings ist nun unser prüfender Strom nur schwach gewesen, und es hätte sich mit Hülfe eines stärkeren Erregers länger in jedem Versuche Muskelzuckung erlangen lassen. Allein dass auch so nicht der Zeit nach der Verlust der Leistungsfähigkeit der Nervenstrecke dem Maximum ihres Widerstandes nahe gekommen wäre, wird nicht blos bei der Durchsicht der Versuche nach den vielfachen anderweitigen Erfahrungen über die Leistungsfähigkeit der Nerven zur Ueberzeugung, sondern auch direct dadurch bewiesen, dass in den Versuchen, welche nicht lange vor dem Eintritte des Maximums abgebrochen wurden, vom Nerven aus dann auf keine Weise mehr, selbst nicht durch das Herausziehen der Nerven aus den Muskeln nach *Harless*[1], Muskelzuckung erlangt werden konnte.

Vom Nervenstrome ist schon angemerkt worden, dass er, wegen der geringen Empfindlichkeit der Bussole bei diesen Versuchen, nur kleine Ablenkungen des Spiegels veranlasste. Allein diese Ablenkungen waren, da unsere Elektroden durchaus gleichartig und unpolarisirbar waren, dennoch ausreichend, das Verhalten des Stromes zu verfolgen: wie dieses hier sich herausgestellt hatte, ebenso hat es sich auch später bei eigens zur Controle mit einem sehr empfindlichen Galvanometer angestellten Versuchen ergeben. An dem sogleich nach dem Tode des Thieres untersuchten Nerven nahm der Strom öfters zuerst zu und darauf ab, sonst von vornherein ab. Die Abnahme erfolgte in manchen Fällen (und zwar anfangs rascher, dann langsamer) ununterbrochen, ziemlich häufig aber noch spät durch eine be-

1) *E. Harless*, Molekuläre Vorgänge u. s. w. II. Abhandlung. Abhandlungen der mathem.-phys. Klasse der Bayer. Akad. d. Wiss. Bd. VIII. Abth. II. S. 538 ff.*; Neurophysiologische Forschungen. S. 29*.

trächtliche Zunahme unterbrochen, bis Null. Wo der Strom vom Längsschnitte und Querschnitte des Nerven abgeleitet war, verschwand er im Allgemeinen später, als wo er von zwei Stellen des Längsschnittes abgeleitet war, und kehrte dann auch nicht wieder. Wo der Strom aber von zwei Stellen des Längsschnittes abgeleitet war, trat er, nachdem er einige Zeit verschwunden gewesen war, von Neuem in umgekehrter Richtung[1] wieder auf, wuchs eine Zeit lang an und nahm schliesslich auf Null ab. Gerade die Beobachtung des umgekehrten Stromes und seines regelmässigen Verlaufes verschaffte alsdann trotz der absolut kleinen Ablenkungen für die entscheidenden Momente die vollkommenste Gewissheit darüber, dass der Strom noch vorhanden war.

Die folgende Tabelle giebt in Ergänzung einiger unserer Versuchsbeispiele die Ablenkungen durch den (ruhenden) Nervenstrom, welche zu den oben (S. 207 ff.) untereinander stehenden Zeiten zur Beobachtung kamen. Die gesetzmässige Richtung des Nervenstromes war bei dem mit dem Unterschenkel in Verbindung gebliebenen Nerven (in Uebereinstimmung damit, dass alsdann der Aequator als im Unterschenkel gelegen anzunehmen ist) immer die absteigende im Nerven, und diese Richtung des Stromes ist mit (+), die umgekehrte Richtung mit (—) bezeichnet. Bei dem Vers. 81., bei welchem der Unterschenkel vom Nerven getrennt und die Anordnung unwirksam war, thut das Zeichen die Richtung des schliesslich neu auftretenden Stromes dar. Die Zahlen sind mit 10 multiplicirt.

Ergänzung zu

Vers. 76.	Vers. 77.	Vers. 80.	Vers. 81.	Vers. 82.	Vers. 90. A.	Vers. 90. B.
+3	+35	+4	0	+3	+2	+18
+5	+17	+2	0	+3	+2	+23
+6	+10	+2	0	+5	+2	+24
+4	+ 7	+2	0	+4	+2	+20
+4	+ 7	+2	0	+3	+1	+17
+2	+ 7	+2	0	+3	+2	+10
0	+10	+2	0	+3	—	+ 5
0	+11	+3	0	+3	+4	+ 5
—1	+15	+3	0	+3	+3	+ 5
—2	+19	+2	0	+3	+2	+ 3
0	+ 7	+4	—3	+3	0	+ 5
0	+ 5	+4	—2	+4	0	+ 6
0	+ 2	+5		+2	0	+ 3
—1	+ 2	+5		+1	0	+ 3
—5	0	+3		0	—2	+ 1
—3	0	+2			—2	0
—3					—2	0
					—3	0
					—3	0
					—3	0

1) Ueber die Umkehr des Nervenstromes beim Absterben s. *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 283—4.*; 554*.

Ueberall reichte der Nervenstrom, wie man an den Versuchsbeispielen sieht, mit seiner Dauer an die Zeit des (zweiten) Maximums des Widerstandes ohngefähr heran oder überschritt sie gar noch etwas. Nie mehr aber war der Nervenstrom längere Zeit nach dem Eintritte des (zweiten) Maximums des Widerstandes vorhanden. Es sind daher die Veränderungen des specifischen Widerstandes des Nerven bis um die Zeit des (zweiten) Maximums dem Absterben des lebenden Nerven, die nachfolgende Abnahme des Widerstandes den Veränderungen — der Fäulniss — des todten Nerven zuzuschreiben.

Dass die Widerstandszunahme der Nervenstrecke deren Fähigkeit, Muskelzuckung zu veranlassen, überdauert, spricht durchaus nicht gegen das eben Gesagte; und nur weil das gleiche Verhalten des Nervenstromes trotz vieler Erörterungen vielfachen Anstoss erregt hat, wollen wir noch einen Augenblick dabei verweilen. Die Sache ist einfach folgende. Die Fähigkeit des lebenden Nerven, bei Einwirkung der Nervenerreger Muskelzuckung herbeizuführen, muss in gewissen physikalisch-chemischen Eigenschaften begründet sein, deren Besitz den lebenden Nerven vor dem todten auszeichnet, und welche »Lebenseigenschaften« heissen mögen. Diese Lebenseigenschaften werden aber im Nerven, damit er Muskelzuckung zu veranlassen im Stande sei, nicht blos überhaupt vorhanden, sondern auch in einer gewissen Grösse, in einer gewissen Ausbildung vorhanden sein müssen. Gehen nun nach dem Tode des Thieres oder nach der Trennung des Nerven vom lebenden Gesammtorganismus die Lebenseigenschaften des Nerven allmählich zu Grunde, so werden sie natürlich früher unter die Grösse sinken müssen, welche für die Muskelzuckung erforderlich ist, als sie überhaupt gänzlich verschwinden. Vollends wird ein solcher Zeitunterschied hervortreten müssen, wenn der Muskel selbst nicht, wie es eben noch angenommen worden ist, unverändert bleibt, sondern, wie es ja in Wahrheit der Fall ist, mit der Zeit weniger erregbar wird. Und so erklärt sich denn auch sogleich, was auf den ersten Blick Wunder nehmen konnte, dass wir den Verlust der Leistungsfähigkeit bei den Nerven kranker Thiere zu einer auffallend viel weiter vom Maximum des Widerstandes entfernten Zeit haben eintreten sehen, als bei den Nerven gesunder Thiere, da neben den Nerven auch die Muskeln bei kranken Thieren eine geringere Lebensfähigkeit besitzen als bei gesunden Thieren.

Ob bei dem kleinsten Nervenabschnitte oder dem Nervenquerschnitte der vollkommene Verlust seiner elektromotorischen Eigenschaften mit dem Maximum des den Widerstand vermehrenden Vorganges genau zusammenfällt, kann durch unsere Erfahrungen nicht entschieden werden, da diese weder bestimmt dafür noch bestimmt dagegen sprechen. Sterben die Nervenquerschnitte einer Nervenstrecke nicht genau gleichmässig und gleich-

zeitig ab (s. o. S. 225.), so wird, so lange noch ein einziger Nervenquerschnitt der Nervenstrecke im Besitze elektromotorischer Eigenschaften ist, bei günstiger Ableitung trotz des Todes aller anderen Nervenquerschnitte der ruhende Nervenstrom noch spurweise an der Nervenstrecke wahrgenommen werden können. Anders verhält es sich bei den Widerstandsveränderungen. Da nämlich der Widerstand eines jeden Nervenquerschnittes nach seiner Zunahme abnimmt, wird hier, selbst wenn mehrere Nervenquerschnitte der Nervenstrecke lebend sind und an Widerstand gewinnen, der Gesammtwiderstand der Nervenstrecke doch bereits in der Abnahme von seinem Maximum aus begriffen sein können. Danach wird weder unsere Erfahrung, dass der Nervenstrom das Maximum des Widerstandes der Nervenstrecke etwas überdauern kann, gegen die augenblicklich in Frage stehende Coincidenz sich verwenden lassen; noch wird auf der anderen Seite gegen sie geltend gemacht werden können, dass der Nervenstrom manchmal nicht ganz an jenes Maximum heranreicht, weil in den betreffenden Versuchen nur die längere Wahrnehmung des Nervenstromes durch besondere ungünstige Umstände verhindert gewesen sein kann. Gerade deshalb aber wird man auch der Ueberzeugung von jener Coincidenz sich sicherlich nicht verschliessen können.

Es ist nunmehr zweifellos, dass der absterbende Nerv ausser durch den Verlust seiner elektromotorischen Eigenschaften noch durch die Zunahme seines specifischen Widerstandes physikalisch charakterisirt ist. So kann man unser Ergebniss einfach aussprechen, muss aber dabei sich erinnern, dass die Zunahme des specifischen Widerstandes des Nerven stets bei dem im Thiere verbliebenen Nerven und öfters auch bei dem isolirten Nerven in einer frühen Zeit des Absterbens durch eine unbeträchtliche Abnahme des Widerstandes unterbrochen ist. Man muss ferner festhalten, dass jener Zunahme des Widerstandes zwei innere Vorgänge im Nerven zu Grunde liegen, welche den Widerstand des Nerven in entgegengesetzter Weise beeinflussen, und von welchen der eine in der Consistenzzunahme der Nervenflüssigkeit erkannt worden ist, der andere in dem Sauerwerden des Nerven sich vermuthen lässt. Wollte man nun noch die Frage aufwerfen, ob diese beiden Vorgänge gleich innig mit dem Absterben des Nerven verknüpft sind, so könnte nach dem, was wir über die Beziehungen des (zweiten) Maximums des Widerstandes zum Nervenstrome ermittelt haben, jedenfalls nur der den Widerstand vermindernde Vorgang als weniger bedeutungsvoll in Frage kommen. Indessen liegt keine Thatsache vor, welche zu einer solchen Annahme berechtigte, und es werden deshalb beide Vorgänge im Nerven zunächst als gleich innig mit seinem Absterben verknüpft festzuhalten sein.

Ein eigenthümliches Zusammentreffen darf hier nicht unerwähnt blei-

ben. Am Schlusse einer Erörterung, wie der elektrotonische Zuwachs des Nervenstromes wohl zwischen den Elektroden selbst des erregenden Stromes (vgl. o. S. 15.) sich nachweisen liesse, sagt *du Bois-Reymond:* »Es würde demnach nichts übrig bleiben, als die Prüfung in der Weise anzustellen, dass man untersucht, ob ein bereits abgestorbener Nerv einen grösseren Widerstand biete, als scheinbar ein solcher, der noch im Besitze seiner Lebenseigenschaften verharrt. Doch dürfte es bei diesem Verfahren ausserordentlich schwierig, ja unmöglich sein, zu der Sicherheit zu gelangen, dass die grössere Schwäche des Stromes in dem ersteren Falle in der That von nichts anderem herrührte, als von dem Erlöschen der elektromotorischen Wirksamkeit des Nerven[1].« Jetzt haben wir in der That den Widerstand des todten Nerven grösser als den des lebenden Nerven gefunden: allein, wie *du Bois-Reymond* selbst es vorhergesehen hat, sicherlich wird Niemand glauben wollen, dass wir damit das *du Bois*'sche Problem gelöst haben. Zum Ueberflusse lässt sich noch darauf aufmerksam machen, dass — von allem Voraufgegangenen abgesehen — die im Ganzen geringe Stärke unseres prüfenden Stromes, die Abnahme des Widerstandes von seinem Maximum aus und das zeitweilige Fortbestehen des Nervenstromes dabei, endlich auch die Unabhängigkeit der Widerstandsdifferenz zwischen dem lebenden und dem todten Nerven von der Stromstärke, wie sie bei den Versuchen an verschieden langen Nervenstrecken sich herausgestellt hat, von vornherein es verbieten, die Widerstandsveränderungen, welche wir constatirt haben, als irgend wesentlich beeinflusst anzusehen durch den Zuwachs des Nervenstromes, dessen Vorhandensein auch zwischen den Elektroden die Theorie des Elektrotonus erfordert.

Weshalb *Harless* und *Ranke*[2] die Widerstandsveränderungen des Nerven beim Absterben entgangen sind, ist schwer mit Bestimmtheit zu sagen. Von *Harless* liegen gar keine weiteren Angaben über seine Versuche vor; *Ranke* führt nur einen einzigen unmittelbar hierhergehörigen Versuch an, in welchem ein Kaninchennerv sogleich, nachdem er dem lebenden Thiere entnommen war, und 5 Stunden später, während welcher Zeit er im feuchten Raume geblieben war, geprüft wurde. Damit, dass Beide[3] ganz ohne Berücksichtigung der inneren Polarisation und der Widerstandsveränderungen des Nerven in Folge der Durchströmung verfahren sind, ist wegen der guten Ergebnisse unserer ersten in (1) beschriebenen Versuche die Erfolglosigkeit ihrer Versuche nicht zu erklären. Richtiger wird man

1) *E. du Bois-Reymond,* Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 328*.

2) Die Citate s. o. S. 18.

3) Für *Harless* ist dies gerade wegen des Mangels jeder weiteren Angabe auf Grund seiner sonstigen Untersuchungsweise des specifischen Widerstandes des Nerven anzunehmen.

vermuthen dürfen, dass ihre Methoden zu unempfindlich und bei der gegebenen Empfindlichkeit ihrer Methoden die Zwischenzeiten der Prüfungen des Nerven zu kurz waren. Das Letztere gilt besonders vom *Ranke*'schen Versuche auf Grund einer Thatsache, die wir, in Rücksicht schon auf einige von uns oben gemachte Angaben, zum Schlusse noch besprechen müssen.

Es ist ein allgemein verbreiteter Glaube, dass, um mit *du Bois-Reymond* zu reden, der Tod die Hirnrückenmarksaxe entlang kriecht von oben nach unten zu und ebenso in jedem einzelnen Nerven von seinem Ursprunge nach seiner Ausbreitung hin; und dass, wo auf diese Weise das Absterben die äusserste Ausbreitung der Nervenröhren im Muskelgewebe erreicht hat, der Muskel aufhört, der Zusammenziehung fähig zu sein, und todtenstarr wird[1]. Er verdankt seine Einbürgerung zunächst den sogenannten *Valli-Ritter*'schen und *Nysten*'schen Gesetzen[2], hat dann aber auch eine wesentliche Stütze darin gefunden, dass nach *du Bois-Reymond* der Verlust der elektromotorischen Eigenschaften zuerst am Gehirne, dann am Rückenmarke und zwar in der Richtung vom Calamus scriptorius zur Cauda equina hin, darauf an den Nervenwurzeln, danach an den Nervenstämmen — wiederum in der Richtung vom Ursprunge nach der Ausbreitung hin — und zuletzt an den Muskeln eintritt[3]; und es ist begreiflich ohne Einfluss auf ihn gewesen, dass man das Absterben des in Verbindung mit seinem Muskel isolirten Nerven von der freiliegenden Querschnittsfläche des Nerven und von gewissen ausgezeichneten Punkten — Verästelungsstellen — im Verlaufe des Nerven aus beschleunigt werden sah. Allein, mag der Glaube auch sonst richtig sein, was das Verhältniss der Nerven zu den Muskeln betrifft, ist er entschieden unrichtig. Dass das Ausbleiben der Muskelzuckung bei der Einwirkung von Erregern auf den Nerven für den Tod des Nerven Nichts beweisen kann, ist schon vorhin erörtert worden. Der Nervenstrom und die Widerstandszunahme des Nerven mit der Zeit sind aber nach hundertfachen Erfahrungen, die bei den Untersuchungen dieses § sowohl an dem isolirten wie an dem im Schenkel verbliebenen Nerven gemacht sind, noch gut an Nerven zu constatiren, deren zugehörige Muskeln schon todtenstarr geworden sind, und erst dann verschwunden, wenn die Muskeln bereits einige Zeit in Fäulniss übergegangen sind. Entsprechende Beobachtungen macht man hinsichts der Consistenzzunahme des Nerven; und auch wenn das getödtete Thier unenthäutet aufbewahrt worden ist, hat, wie besondere Versuche ergeben haben, alles eben Gesagte Gültigkeit. Es wird demnach fortan anzuerkennen sein,

1) *E. du Bois-Reymond,* Unters. u. s. w. Bd. I. S. 321–2*.

2) Ebendaselbst.

3) *E. du Bois-Reymond,* Unters. u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 284—5*.

dass die Muskeln im Allgemeinen eher und keinesfalls später dem Tode verfallen als die Nerven.

§ 6. Von dem Einflusse der Temperatur des Nerven.

Mit der eben abgeschlossenen Untersuchung hängt, wie sehr bald einleuchten wird, auf das Innigste zusammen die Untersuchung des Einflusses der Temperatur des Nerven, zu welcher wir nunmehr übergehen.

Die Untersuchung erscheint von vornherein sehr einfach, wenn wir nur für die Anwendung des Oppositionsverfahrens die Stative mit den Zuleitungsröhren für die beiden Nerven nicht, wie bisher, in einer und derselben, sondern in zwei getrennten feuchten Kammern aufstellen und die Temperatur der einen Kammer constant höher oder niedriger halten können als die der anderen Kammer. Ehe wir jedoch an die Ueberwindung der Schwierigkeiten gehen, welche die Erfüllung der zweiten Bedingung bietet, ist es gerathen, einige Versuche zur Orientirung anzustellen.

(1.) Von den Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Temperatur.

Nachdem wir die Oppositions-Vorversuche (S. 163.) ausgeführt haben, richten wir die beiden Nerven eines eben getödteten gesunden Thieres rasch nach einander zum Versuche her, legen aber nur den einen von ihnen sogleich auf die Zuleitungsröhren ζ und ζ_1 in der feuchten Kammer, den anderen bringen wir zunächst in ein Wasserdampfbad, dessen Temperatur bei einer Zimmertemperatur von 16—17° C. zwischen 22 und 54° C. liegt. Durch die sorgfältige Regulirung einer kleinen Weingeistflamme, welche in einem hohen Gefässe eine ansehnliche, aber nur zum Theil das Gefäss erfüllende Wassermenge erwärmt, ist dem Wasserdampfe eine nahezu constante Temperatur verschafft, und der Nerv hängt — nach passender Befestigung des Unterschenkels, wenn er mit diesem noch in Verbindung ist, oder der Lendenwirbel — frei in das Gefäss hinab; ein Thermometer, dessen Kugel dicht neben dem Nerven etwa in der Mitte seiner Länge sich befindet, zeigt uns die Temperatur des Wasserdampfes an, welcher den Nerven erwärmt. Nach einiger Zeit nehmen wir den Nerven aus dem Dampfbade heraus, legen ihn auf das Schleunigste und in gleicher Weise, wie vorher den anderen Nerven, den für ihn bestimmten Zuleitungsröhren z und z_1 auf und lassen sofort die Durchströmung der beiden Nerven beginnen.

Erst einige Zeit nach dem Beginne des Versuches wird dann der erwärmte Nerv N auf die Temperatur der Kammerluft und des Nerven N_1

zurückgekehrt sein, und bis dahin werden wir vielleicht den Einfluss der Erwärmung auf die Widerstandsveränderungen bei der Durchströmung schon ermittelt haben können. In Folge der Erkaltung allein des erwärmten Nerven muss nämlich Φ, das zuerst mehr oder weniger kleiner als 1 sein wird, während des Versuches wachsen: nimmt es nun bei der Durchströmung ab oder bleibt es constant, so wird daraus zu entnehmen sein, dass mit dem Wachsen der Temperatur die Widerstandszunahme der Nervenstrecke bei der Durchströmung an Steilheit verliert. Und da gerade dieses Ergebniss zu vermuthen ist, dürfen wir hoffen, so mit nur geringer Mühe die Untersuchung zu gutem Ende bringen zu können.

Ganz anders gestalten sich aber in Wirklichkeit die Ergebnisse unserer Versuche, und sie nöthigen uns sogar, von dem eigentlichen Gegenstande unserer Bemühungen, von dem Verhalten von Φ bei der Durchströmung zunächst abzusehen. Denn Φ stellt sich bei der ersten Bestimmung unmittelbar nach der Schliessung der Kette nur selten etwas kleiner als 1 (in minimo etwa $= {}^5/_6$,) sonst aber ohngefähr $= 1$ oder meist sogar grösser als 1 (bis nahe $= 2$) heraus.

Schwer lässt sich bei den ersten derartigen Wahrnehmungen der Verdacht unterdrücken, dass Nichts weiter als ein Versuchsfehler vorliege. Sind auch die Resultate der Vorversuche gute gewesen und liefern entsprechende Versuche, während und nach der Untersuchung selbst angestellt, nicht minder gute Ergebnisse, so ist doch nicht zu verkennen, dass die natürliche Hast beim Auflegen des erwärmten Nerven die Fehlergrenzen beim Oppositionsverfahren erweitern d. h. die Grösse, um welche Φ blos in Folge ungleicher Auflagerung der Nerven von 1 abweichen kann, vergrössern muss. Allein, je mehr man die Versuche häuft, desto mehr kommt man von dem Verdachte zurück. Denn ist es schon unerklärlich, dass wir blos durch jene Hast überhaupt so grosse Fehler begehen sollten, wie die Versuche öfters Abweichungen von 1 ergeben, so ist es weiter gar nicht denkbar, dass diese grossen Fehler stets nur nach der einen Seite hin fallen sollten, so dass Φ viel grösser als 1 wird, niemals aber nach der anderen Seite hin, so dass Φ viel kleiner als 1 wird. Und den letzten Rest des Verdachtes hilft dann eine genauere Musterung der aufgehäuften Versuche zerstreuen. In allen Versuchsreihen, mag in ihnen der Aufenthalt des Nerven im Dampfbade 1 oder 2 oder 5 oder 10 oder 15 Minuten angedauert haben, zeigt sich nämlich regelmässig und übereinstimmend, dass Φ bei mässiger Temperatur des Dampfbades grösser als 1, bei höherer Temperatur ohngefähr gleich oder kleiner als 1, endlich bei noch höherer Temperatur des Dampfbades wiederum grösser als 1 gewesen ist. Sind also auch die Fehler des Oppositionsverfahrens hier wirklich grösser als sonst gewesen, so haben sie doch, weil sie bald nach dieser bald nach

jener Seite hin gefallen sind, unsere Versuchsergebnisse im Ganzen und Grossen nicht beeinträchtigen können.

Bei näherer Erwägung verliert sich denn auch für uns die grosse Anomalie, die in unseren Erfahrungen auf den ersten Blick wohl vorzuliegen scheinen konnte. Denn wir hatten bei unserer Ueberlegung die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit in Betracht zu ziehen unterlassen; und da diese mit der Zunahme der Temperatur nach unseren Ermittelungen im § 5 (3) eine Beschleunigung in ihrem Ablaufe erfahren, ist es möglich, dass durch sie die Widerstandsabnahme in Folge der Erwärmung uns verdeckt worden ist. Manches bei den uns vorliegenden Versuchen spricht bereits für diese Vermuthung. Allein die zu anderen Zwecken angestellten Versuche bieten uns, weil immer nur die erste Bestimmung von Φ hier brauchbar ist, zu wenige Anhaltspunkte, und wir müssen unserer Vermuthung noch durch anderweitige Versuche nachgehen.

Das allgemeine Schema unserer nächsten Versuche ist das, dass wir in regelmässigen Zeitabständen durch momentane Schliessungen den Widerstand einer den Zuleitungsröhren aufliegenden Nervenstrecke bestimmen; dann in der Zwischenzeit zweier Bestimmungen den Nerven, ganz wie bei den voraufgegangenen Versuchen, im Wasserdampfbade erwärmen und nach seiner Entfernung aus dem Bade genau so, wie vorher, den Zuleitungsröhren auflagern; darauf sofort den Widerstand der Nervenstrecke wieder bestimmen und mit den Bestimmungen weiter so, wie vor der Erwärmung, fortfahren. Da der Aufenthalt des Nerven im Dampfbade aber nur auf wenige Minuten sich erstrecken und die Zwischenzeiten zweier Prüfungen demgemäss nur klein sein sollen, können wir uns für die Bestimmungen nicht genau des Verfahrens wieder bedienen, welches wir oben im § 5 (2) in Anwendung gezogen haben, zumal da wir gerade in den entscheidenden Momenten der richtigen Bestimmung des Widerstandes nicht sicher wären. Vielmehr modificiren wir unser dortiges Verfahren in der folgenden Weise, in welcher es nunmehr, wo der Verlauf der Widerstandsveränderungen mit der Zeit im Groben immer bekannt sein wird, auch bei der Wiederholung der Versuche des § 5 (2) vortheilhaft wird in Anwendung kommen können. Wir bestimmen nämlich nach der Methode der momentanen Schliessungen (s. o. S. 23.) höchstens noch zum ersten Male den Widerstand der Nervenstrecke und gehen bei den weiteren Bestimmungen den Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke einfach durch rasche Verstellung des Schiebers *S* nach, so jedoch, dass wir von Bestimmung zu Bestimmung mit der Richtung des prüfenden Stromes abwechseln. Da die Widerstandsveränderungen des Nerven zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bestimmungen in der Regel verhältnissmässig nur klein sind und man die Richtung, in welcher der Schieber zu verstellen

ist, meist schon im Voraus weiss, kann die richtige Einstellung des Schiebers in wenigen (kaum 5) Secunden erfolgen; und man gewinnt offenbar, was man durch die etwaige längere Dauer der Durchströmung gegen die frühere Methode einbüsst, sicher wieder durch die geringere Zahl der Prüfungen.

Aber noch eine wesentliche Veränderung treffen wir hier den Versuchen des § 5 (2) gegenüber. Statt zur Versuchsanordnung Fig. 1. zurückzukehren, behalten wir nämlich die Versuchsanordnung Fig. 13. bei und benutzen für die Nervenstrecke *ab*, an welcher wir den Einfluss der Temperatur studiren, die so wie in den Oppositionsversuchen ζ und ζ_1 aufliegende Nervenstrecke $\alpha\beta$ des zweiten Nerven als Vergleichswiderstand. So gefährlich uns früher ein veränderlicher Vergleichswiderstand gewesen wäre, so recht ist er uns in der angegebenen Form jetzt. Man kann sagen, dass nach den Erfahrungen des § 5 (2) die Widerstandsveränderungen, welche die Nervenstrecke $\alpha\beta$ des noch nicht lange vom lebenden Gesammtorganismus getrennten Nerven während der kurzen Dauer eines jeden Versuches bei unserer Zimmertemperatur mit der Zeit erfährt, überhaupt sich ganz vernachlässigen lassen: und dann leistet, da es auf absolute Widerstandsbestimmungen uns nicht ankommt, $\alpha\beta$ hier genau dasselbe wie unsere Capillarröhre. Lassen sich aber jene Widerstandsveränderungen mit der Zeit nicht vernachlässigen, so übersieht man, dass nunmehr gerade durch unseren neuen Vergleichswiderstand die Widerstandsveränderungen mit der Zeit bei der Zimmertemperatur aus unseren Versuchsergebnissen, ohne dass wir uns weiter darum zu bemühen brauchten, eliminirt sind. Denn da der Widerstand der beiden Nervenstrecken *ab* und $\alpha\beta$ ohne jeden Eingriff unsererseits immer in gleicher Weise und in gleicher Grösse sich verändern würde — wie es sich auch thatsächlich darin ausspricht, dass Φ vor der Erwärmung des einen Nerven in der Regel seine Grösse gar nicht oder nicht der Rede werth verändert —, lassen uns die Veränderungen, welche an Φ nach der Erwärmung des Nerven N zur Beobachtung kommen, sofort die Widerstandsveränderungen erkennen, welche *ab* in Folge der Temperaturveränderungen erfahren hat. Freilich ist die Grössenbestimmung dieser letzteren Veränderungen dann nicht ganz genau; allein zu besseren Resultaten würde man auch kaum auf eine andere Weise kommen können, weil die Widerstandsveränderungen mit der Zeit bei der Zimmertemperatur so, wie sie uns bekannt geworden sind, doch zu wenig genau sich in Rechnung bringen lassen.

Was die Fehlerquellen der Untersuchung betrifft, so braucht hinsichts der prüfenden Durchströmungen nach den Erfahrungen des § 5 (2), da die raschere Folge der Prüfungen bei unseren jetzigen Versuchen durch die viel grössere Zahl der Prüfungen bei den dortigen Versuchen mehr als

aufgewogen wird, nicht einmal mehr auf die Vortheile aufmerksam gemacht zu werden, welche unser neuer Vergleichswiderstand hier wiederum bietet: die Versuche mit verschieden häufigen Prüfungen stellen zudem auch hier die Ungefährlichkeit der Prüfungen unmittelbar heraus. Sodann kommt, von einer später zu besprechenden Fehlerquelle abgesehen, nur noch in Betracht, dass der Nerv N für die Erwärmung von z und z_1 abgehoben und nachher von Neuem in gleicher Weise wieder aufgelegt werden muss. Dies gelingt aber, wie besondere Versuche gezeigt haben, besser als die gleiche Auflagerung zweier Nerven auf zwei Paare von Zuleitungsröhren, welche die Oppositionsversuche stets erfordern, indem bei gleicher Aufmerksamkeit die Fehlergrenzen im ersteren Falle enger gesteckt sich ergeben als im letzteren Falle[1]. Da ferner die Fehler wiederum sowohl nach der einen wie nach der anderen Seite hin fallen d. h. Φ nach der Erwärmung von N ganz unregelmässig bald zu gross bald zu klein erscheinen lassen müssen, beweisen die sogleich folgenden Versuchsergebnisse selbst, dass die in Rede stehende Fehlerquelle im Grossen und Ganzen unschädlich gewesen ist. Endlich ist es uns unbenommen, in jedem beliebigen unserer Versuche den Nerven N, wenn er nach seiner Erwärmung zur Kammertemperatur zurückgekehrt ist, von Neuem und wiederholt in etwas verschiedener Weise aufzulagern: wir überzeugen uns dabei, dass Φ, wo einigermassen beträchtliche Veränderungen durch die Erwärmung an ihm erfolgt sind, nur unbeträchtlich hinsichts der Grösse und daher erst recht nicht hinsichts der Richtung dieser Veränderungen durch die kleinen Variationen der Auflagerung von N beeinträchtigt wird.

Man findet nun bei den Versuchen, zu welchen man immer gesunde und gleich muntere Thiere verwendet, Φ bei der ersten Bestimmung nach der Erwärmung meist mehr oder weniger gewachsen, selten verkleinert, und in den nächstfolgenden Minuten nimmt Φ in der Regel rasch mit abnehmender Geschwindigkeit zu; danach verändert es sich aber nur sehr langsam, wie etwa vor der Erwärmung, indem es wächst oder abnimmt.

Die Ergebnisse der ersten Bestimmung von Φ nach der Erwärmung veranschaulicht des Genaueren in ihren Beziehungen zur Temperatur und zur Dauer des Dampfbades die graphische Darstellung der Fig. 17. In dieser Figur, welche zunächst nur in ihrem Theile rechts von (16) der Abscissenaxe uns angeht, sind als Abscissen die Temperaturen aufgetragen,

1) Es ist darum bei dem ersten Auflegen der Nerven auf die Zuleitungsröhren für unsere jetzigen Versuche vor Allem darauf zu halten, dass man ausreichende Anhaltspunkte gewinnt, um den Nerven N nach seiner Entfernung aus dem Dampfbade in ganz derselben Weise, wie vorher, auflegen zu können. Erst in zweiter Linie steht die Anforderung, dass die beiden Nerven N und N_1 gleich aufliegen: je besser diese Anforderung erfüllt ist, desto empfindlicher ist die Versuchsanordnung, desto genauer sind die Ergebnisse.

welchen der Nerv N im Wasserdampfbade ausgesetzt wurde, und als Ordinaten die Zuwächse, welche für Φ bei seiner ersten Bestimmung nach der

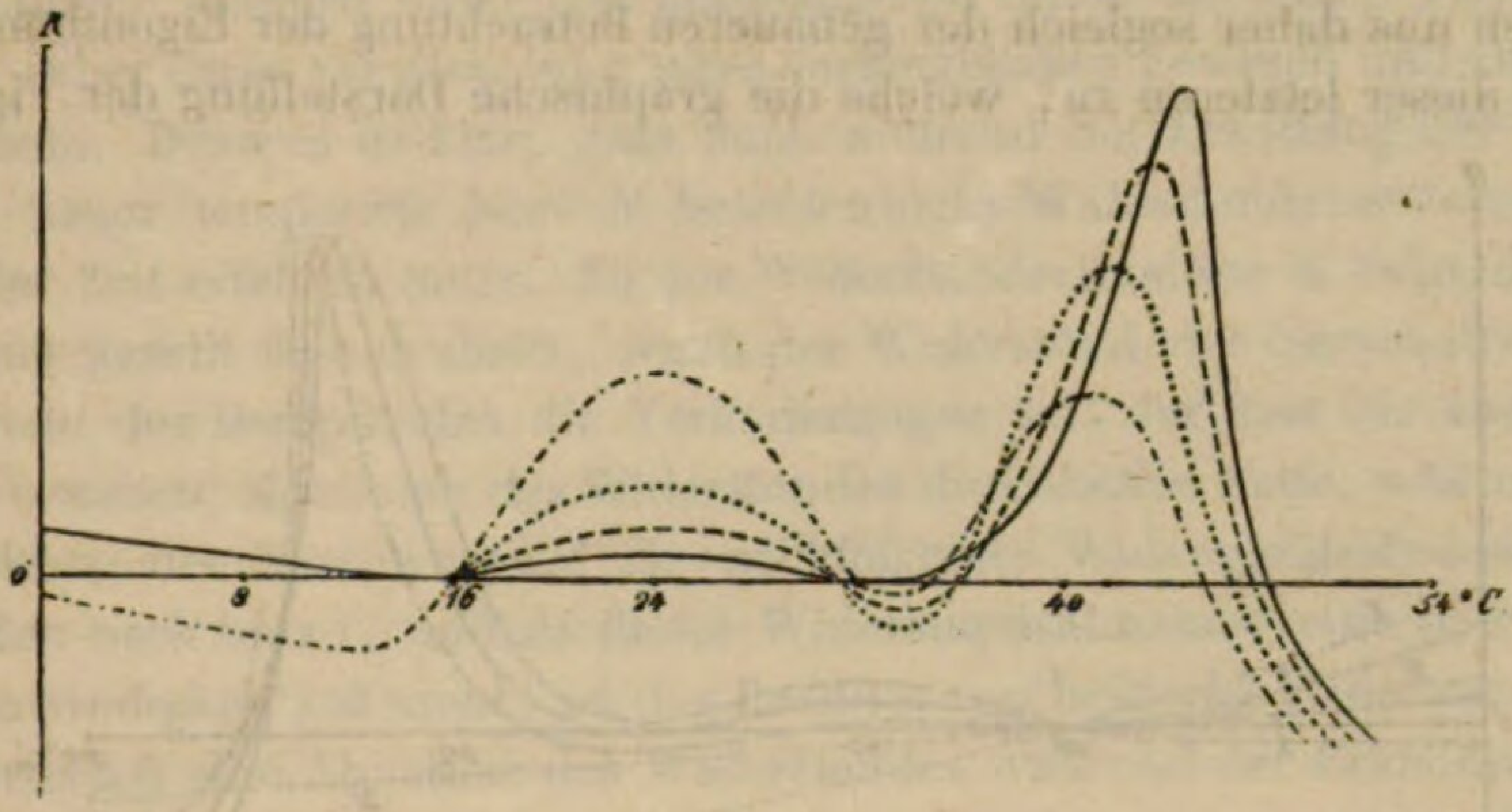


Fig. 17.

Erwärmung von N sich herausstellten; die Länge $\dot{O}R$ der verticalen Coordinatenaxe ist $= \Phi$ vor der Erwärmung von N. Will man aber die Veränderungen von $w_{\alpha\beta}$ in der Zwischenzeit der letzten Bestimmung vor und der ersten Bestimmung nach der Erwärmung von N vernachlässigen, so kann man unsere Ordinaten auch die Widerstandszuwächse bedeuten lassen, welche für ab bei der ersten Bestimmung nach der Erwärmung von N sich herausstellten, und $\dot{O}R$ ist dann $= w_{\alpha\beta}$, also auch ohngefähr $= w_{ab}$ vor der Erwärmung von N. Die ausgezogene Curve ist nun die Curve der Zuwächse für den Fall, dass der Nerv 1 Minute im Dampfbade verweilt hatte, und die gestrichelte Curve ist die analoge Curve für den Fall, dass der Aufenthalt des Nerven im Dampfbade 2 Minuten angedauert hatte. Länger als 2 Minuten war der Nerv bei unseren jetzigen Versuchen nicht der höheren Temperatur ausgesetzt worden. Unsere Versuche der ersten Art gestatten aber die Figur noch zu vervollständigen, und die punktirte und die abwechselnd gestrichelte und punktirte Curve sind auf Grund der ersten Bestimmungen von Φ bei den Versuchen der ersten Art die analogen Curven für den Fall, dass der Nerv 5 resp. 15 Minuten im Dampfbade sich befunden hatte. Die Ergebnisse der verschiedenen Versuchsreihen stimmen gut überein, und man übersieht an der Figur mit einem Blicke, so dass wir uns auf keine Erörterung weiter einzulassen brauchen, wie bei gegebener Dauer des Dampfbades mit dessen Temperatur und bei gegebener Temperatur des Dampfbades mit dessen Dauer der Zuwachs von Φ (oder der Widerstandszuwachs der Nervenstrecke ab) zur Zeit unserer ersten Bestimmung nach der Erwärmung sich verändert hatte[1].

1) Bei dem Entwurfe der Curven sind drei Bestimmungen von Φ für die 5 Min. lange und eine Bestimmung für die 15 Min. lange Erwärmung von N auf Tempera-

Dieser an sich sehr interessanten Erfahrungen wegen hätten wir jedoch nicht erst unsere neuen Versuche zu unternehmen nöthig gehabt, und wir wenden uns daher sogleich der genaueren Betrachtung der Eigenthümlichkeiten dieser letzteren zu, welche die graphische Darstellung der Fig. 18.

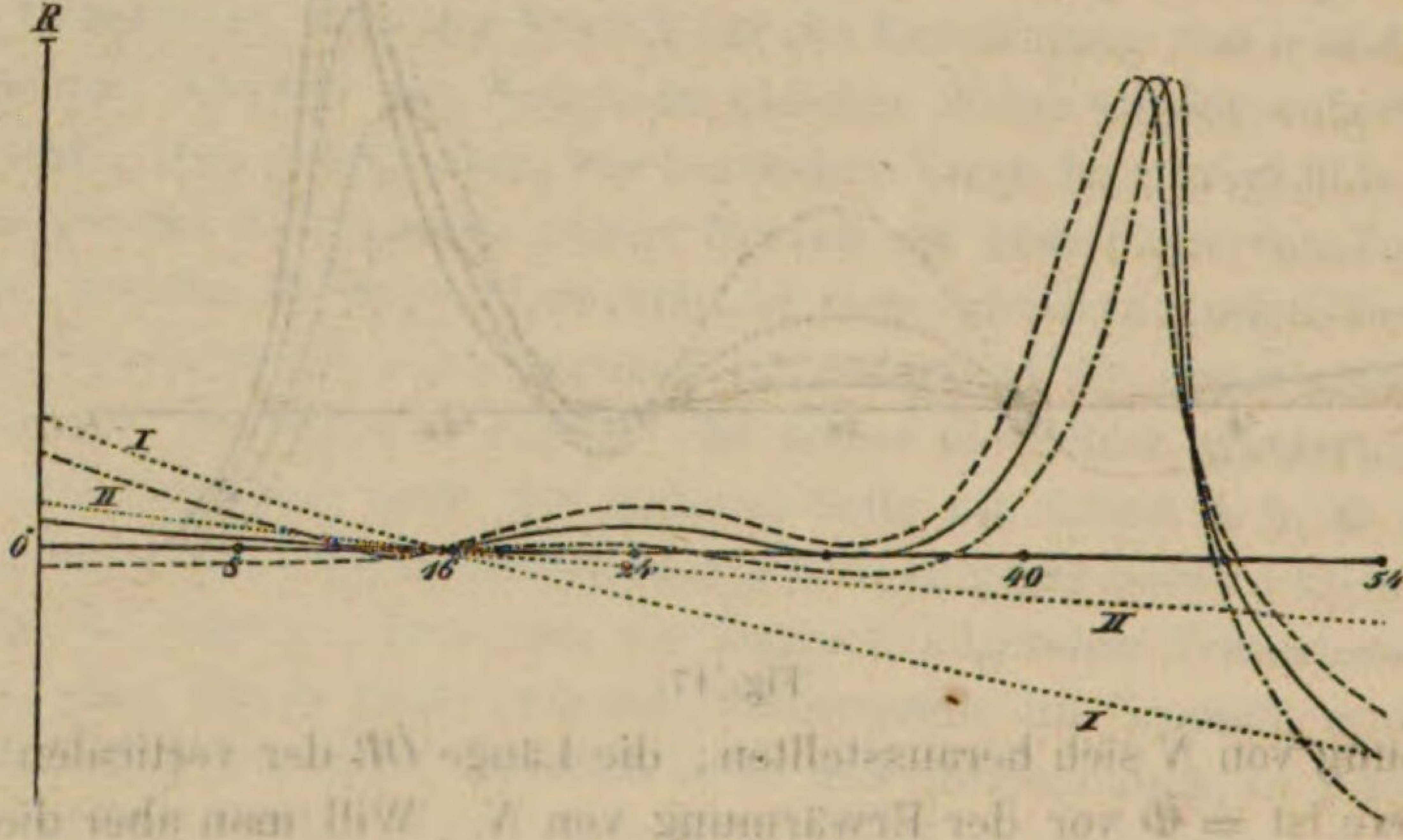


Fig. 18.

veranschaulicht. Die Abscissen und Ordinaten dieser Figur, die wiederum zunächst nur in ihrem Theile rechts von (16) der Abscissenaxe in's Auge zu fassen ist, haben dieselbe Bedeutung wie in der Fig. 17., und die ausgezogene Curve der Fig. 18. ist nur die Wiederholung der ausgezogenen Curve der Fig. 17. Die gestrichelte Curve der Fig. 18. ist dann aber die Curve der Zuwächse, welche für Φ (oder der Widerstandszuwächse, welche für *ab*) c. 5 Minuten nach der Entfernung des Nerven *N* aus dem Dampfbade, wenn die rasche Veränderung von Φ (oder des Widerstandes von *ab*) vorüber war, sich ergeben haben; und mit dieser Curve haben wir eine wichtige Bestätigung unserer Vermuthung gewonnen. Sind nämlich die Widerstandsveränderungen, welche der Nerv *N* durch die Erwärmung erfährt, wie wir es uns dachten, die algebraische Summe einmal der Widerstandsabnahme des Nerven unmittelbar durch die Temperaturerhöhung und sodann der durch die Temperaturzunahme beschleunigten Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit, so musste Φ (oder w_{ab}) in der der ersten Bestimmung desselben nach der Erwärmung folgenden Zeit in Folge der Erkaltung des Nerven *N* noch wachsen; — und dies hat sich in der That ergeben.

turen zwischen 23 u. 30° C. vernachlässigt worden, weil bei ihnen Φ allen anderen Bestimmungen gegenüber zu gross war. Wahrscheinlich sind diese Abweichungen durch eine wesentlich verschiedene Lebensfähigkeit der betreffenden Nerven herbeigeführt worden; doch sind auch noch andere Möglichkeiten denkbar. — Dass die Curven der Fig. 17. u. 18. nur im Grossen und Ganzen auf Richtigkeit Anspruch machen können, brauchte wohl kaum besonders angemerkt zu werden.

Freilich liegt noch eine Verwickelung vor, die gar nicht zu übersehen ist, weil zwischen etwa 44° und 47° C. die gestrichelte Curve der Fig. 18. nicht über, sondern unter der ausgezogenen Curve derselben Figur verläuft. Aber diese Verwickelung wäre vorherzusagen gewesen und ist leicht zu lösen. Denn es ist klar, dass auch während der Erkaltung der immer noch höher temperirte Nerv N beschleunigte Widerstandsveränderungen mit der Zeit erfahren muss. Zu der Widerstandszunahme in Folge der Erkaltung gesellt sich deshalb, wenn der Widerstand der Nervenstrecke *ab* während des Dampfbades die Veränderungen mit der Zeit bis ohngefähr zum (zweiten) Maximum des Widerstandes durchlaufen hatte, während der Erkaltung der Nervenstrecke die nachfolgende Widerstandsabnahme mit der Zeit noch hinzu, und da dieser Widerstandsabnahme eine sehr grosse Geschwindigkeit zukommt, ist das Resultat von beiderlei Widerstandsveränderungen eine Abnahme des Widerstandes während der Erkaltung.

Weil nun die zeitlichen Veränderungen auch an dem aus dem Dampfbade entfernten Nerven noch einige Zeit beschleunigt fortschreiten, könnte man vielleicht die rasche Zunahme von Φ (oder w_{ab}), welche wir der ersten Bestimmung desselben nach der Erwärmung haben folgen sehen, überhaupt und ausschliesslich den beschleunigten zeitlichen Veränderungen von *ab* zuschreiben wollen, so dass man die Erwärmung bei der Nervenflüssigkeit nur eine Beschleunigung ihrer Widerstandsveränderungen mit der Zeit und gar keine Abnahme des Widerstandes unmittelbar durch die Temperaturerhöhung, wie bei allen anderen Flüssigkeiten, herbeiführen liesse. Ein solches Vorhaben wird jedoch durch unsere Erfahrungen bei Temperaturen zwischen 32 und 36° C. und besonders zwischen 47 und 54° C. unmöglich gemacht. Denn in beiden Fällen ist durch die längere Dauer der beschleunigten Widerstandsveränderungen mit der Zeit, wie aus Fig. 17. ersichtlich ist, eine Abnahme von Φ (oder w_{ab}) bedingt, und in beiden Fällen zeigt sich während der Erkaltung eine Zunahme von Φ (oder w_{ab}). Nur im ersten Falle liesse sich dann noch ein Einwand damit begründen, dass, weil die Temperatur des Nerven N sinkt, der Fortschritt der beschleunigten Veränderungen vielleicht doch zu einer Zunahme von Φ (oder w_{ab}) führen könnte: im zweiten Falle ist aber auch dieser Einwand nicht möglich, und hier wird es daher zweifellos, dass eine Zunahme des Widerstandes die unmittelbare Folge der Temperaturabnahme nach der Erwärmung des Nerven, also vorher bei der Erwärmung des Nerven eine Abnahme seines Widerstandes die unmittelbare Folge der Temperaturzunahme gewesen ist.

So mangelhaft es auch nur geschehen kann, weil wir die beschleunigten zeitlichen Veränderungen während der Erkaltung von der mit der Erkaltung unmittelbar verbundenen Widerstandszunahme nicht scharf zu

trennen vermögen, so empfiehlt es sich doch, der Vorstellung, welche wir jetzt von den Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke *ab* bei unseren Versuchen gewonnen haben, gewissermassen eine greifbarere Form zu geben. Diesem Zwecke dient wiederum Fig. 18., in welcher wir, um die Darlegung zu erleichtern, jetzt $\dot{O}R = w_{\alpha\beta} = w_{ab}$ vor der Erwärmung von N nehmen. Zur Zeit der Entfernung des Nerven aus dem Dampfbade ist die punktirte Curve I die Curve der Widerstandszuwächse der Nervenstrecke unmittelbar in Folge der Temperaturerhöhung und die gestrichelte Curve die mit einem Fehler behaftete Curve der Widerstandszuwächse der Nervenstrecke in Folge der durch die Temperaturerhöhung beschleunigten Widerstandsveränderungen mit der Zeit; die Summencurve beider nach Eliminirung des Fehlers der gestrichelten Curve, also die Curve des wahren Widerstandes der Nervenstrecke, ist dann die abwechselnd gestrichelte und punktirte Curve. Zur Zeit unserer ersten Bestimmung des Widerstandes nach der Erwärmung ist die punktirte Curve I bereits zur punktirten Curve II geworden, und die Summencurve dieser Curve und der gestrichelten Curve nach der Eliminirung von deren Fehler und endlich einer dritten, nicht gezeichneten Curve der Widerstandszuwächse in Folge der beschleunigten Widerstandsveränderungen mit der Zeit, welche noch nach der Entfernung des Nerven aus dem Dampfbade erfolgt sind, ist jetzt die ausgezogene Curve. Endlich, wenn die Temperatur der Nervenstrecke zur Kammertemperatur zurückgekehrt ist, sind die Widerstandszuwächse der Nervenstrecke unmittelbar in Folge der Temperaturerhöhung fortgefallen; die Widerstandszuwächse in Folge der durch die Temperaturerhöhung beschleunigten zeitlichen Veränderungen während und nach der Erwärmung des Nerven sind aber geblieben und treten in der gestrichelten Curve, die nunmehr zugleich die Curve des wahren Widerstandes der Nervenstrecke ist, rein hervor. Der Fehler der gestrichelten Curve für die Zeit der Entfernung des Nerven aus dem Dampfbade ist dadurch bedingt, dass unsere Curve die beschleunigten Widerstandsveränderungen mit der Zeit, welche während der Erkaltung erfolgt sind, mit einschliesst[1].

Wegen der Willkür, welche der punktirten Curve I anhaftet, lässt sich der abwechselnd gestrichelten und punktirten Curve der Fig. 18. zunächst kein grösseres Gewicht beilegen, als dass sie den Verlauf der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke in Folge der Erhöhung ihrer Temperatur im Grossen und Ganzen richtig darstellt. Es muss aber vor der Hand durchaus noch dahingestellt bleiben, ob wirklich nur innerhalb gewisser

1) Um die Figur 18. durch Vermehrung der Curven nicht unklar zu machen, hat die Eliminirung dieses Fehlers der gestrichelten Curve dem Leser überlassen werden müssen.

mittlerer Grade und wiederum bei den höchsten Graden der von uns untersuchten Temperaturen, wie es die Curve zeigt, eine Abnahme des Widerstandes die Folge der Temperaturerhöhung ist. Darüber uns Gewissheit zu verschaffen, stellen wir jetzt neue Versuche an.

Wir behalten für diese dritte Art von Versuchen, für welche wir wiederum nur gesunde und gleich muntere Thiere verwenden, unser letztes Versuchsverfahren genau bei und erwärmen nur die Nervenstrecke *ab* auf andere Weise. Bei dem Auflagern des Nerven *N* legen wir sein centrales, zwischen *b* und der Wirbelsäule gelegenes Stück nicht, wie bisher, auf die neben z_1 befindliche Glasröhre, sondern in einen Porzellannapf, der zur Seite von z_1 auf einem besonderen Stative passend aufgestellt ist; und zwar so, dass in den verschiedenen Reihen von Versuchen der Abstand zwischen z_1 und dem benachbarten oberen Napfrande verschieden gross ist und 3—12^{mm} beträgt. In der Zwischenzeit zweier Bestimmungen füllen wir dann den Napf mit erwärmtem Olivenöl, so dass zunächst das im Napfe befindliche Nervenstück und mittelbar durch dieses auch die Nervenstrecke *ab* erwärmt wird. So sind wir im Stande, die Widerstandsveränderungen von *ab* unmittelbar während der Erwärmung und, woran uns allerdings nach den voraufgegangenen Versuchen weniger gelegen zu sein braucht, während der Erkaltung von *ab* zu verfolgen.

Die Ergebnisse der Versuche sind von einer Regelmässigkeit, die Nichts zu wünschen übrig lässt, und bei verschiedenem Abstande zwischen *b* und dem Napfrande nur insofern verschieden, als mit dem Wachsen dieses Abstandes auch die Temperatur des Oeles bei seinem Einfüllen in den Napf grösser sein muss, um dieselben Erscheinungen, wie bei geringerem Abstande niederer temperirtes Oel, hervorzurufen. Bei 6—8^{mm} Abstand zwischen *b* und dem Napfrande sind die Ergebnisse folgende. Wenn die Temperatur des Oeles beim Eingiessen desselben 40°C. nicht übersteigt, verändert sich Φ (oder w_{ab}) nach dem Eingiessen kaum anders als vorher, und sehr kleine Zunahmen oder Abnahmen, die man wohl hin und wieder bemerkt, sind nicht mit Sicherheit von den Veränderungen zu unterscheiden, welche Φ (oder w_{ab}) auch ohnedies mit der Zeit erfahren hätte. War das Oel aber auf 40—50°C. erwärmt, so folgt dem Eingiessen unmittelbar während 1—2 Minuten zuerst eine ohngefähre Constanz von Φ (oder w_{ab}), und danach wächst Φ mit anfangs zunehmender und später abnehmender Geschwindigkeit an; wenn das Oel die Kammertemperatur wieder angenommen hat, ist Φ beträchtlich vergrössert und wächst nur sehr langsam an. Mit dem weiteren Wachsen der Temperatur des Oeles bis auf etwa 70—80°C. verändern sich die Erscheinungen so, dass nach der anfänglichen ohngefähren Constanz vor der grossen Zunahme eine geringe Abnahme von Φ (oder w_{ab}) sich einschiebt, die Dauer der anfänglichen Con-

stanz immer kleiner, die Dauer der nachfolgenden Abnahme zuerst grösser und dann wieder kleiner wird, endlich darauf Φ immer rascher und beträchtlicher wächst. War endlich das Oel auf 80—100° C. erwärmt, so findet man sofort nach dem Eingiessen desselben Φ (oder w_{ab}) etwas verringert, aber Φ nimmt sogleich sehr beträchtlich und noch viel rascher als sonst zu; schon wenige Minuten nach dem Eingiessen des Oeles hat dann Φ ein Maximum erreicht, das seinen anfänglichen Werth weit übertrifft, und nimmt von diesem aus mit anfangs zunehmender und später abnehmender Geschwindigkeit ab; etwa 20—25 *m.* nach dem Eingiessen des Oeles, wenn dieses ohngefähr zur Kammertemperatur zurückgekehrt ist, hat Φ (oder w_{ab}) wieder ein Minimum erreicht, das immer noch wesentlich grösser als der ursprüngliche Werth von Φ (oder w_{ab}) ist, und nimmt von Neuem, aber sehr langsam zu[1].

Hiermit ist die Richtigkeit unserer abwechselnd gestrichelten und punktirten Curve der Fig. 18. nicht nur hinsichts ihres Verlaufes im Grossen und Ganzen, sondern auch hinsichts der Grösse und der Vorzeichen ihrer Ordinaten erhärtet. Und wenn wir auf das Detail der letzten Versuche noch genauer eingehen und die Dauer der Temperaturen mit in Betracht ziehen, stellt sich auch noch weiter eine treffliche Uebereinstimmung unserer früheren und unserer neuesten Erfahrungen heraus. Denn nach Fig. 17. wird mit der Dauer der Temperaturen das erste Maximum der Curve der Zuwächse, bezogen auf die Temperaturen, immer grösser und das zweite Maximum immer kleiner, endlich das Minimum zuerst kleiner und dann wieder grösser. Und in Uebereinstimmung damit ist bei den letzten Versuchen, in welchen *ab* die niederen Temperaturen langsamer durchlaufen hat, das erste Maximum jener Curve der Zuwächse grösser, — und in den anderen Versuchen, in welchen *ab* die niederen Temperaturen in weniger als 1 Minute durchlaufen und die höheren Temperaturen erst nach mehr als 1 Minute gewonnen hat, das erste Ansteigen jener Curve der Zuwächse kleiner, das Minimum ohngefähr von gleicher Grösse und das zweite Maximum wiederum kleiner als in der abwechselnd gestrichelten und punktirten Curve der Fig. 18. Wenn aber bei hocherwärmtem Oele selbst der grössten und raschesten Zunahme von Φ (oder w_{ab}) immer nur eine verhältnissmässig viel geringere und langsamere Abnahme desselben nachfolgt, so ist dies wiederum nur dadurch zu erklären, dass alsdann zur Abnahme von Φ (oder w_{ab}) in Folge der beschleunigten zeitlichen Veränderungen von *ab* eine Zunahme desselben unmittelbar in Folge der Erkaltung von *ab* sich hinzugesellt.

1) Die Temperatur der Kammer erfuhr, beiläufig bemerkt, durch das hineingebrachte Oel oder Eis (s. u.) eine Veränderung von höchstens $1/3$° C., eine nur so geringe Veränderung also, dass sie zu vernachlässigen ist.

So hätten wir denn eine vor der Hand befriedigende Kenntniss der Widerstandsveränderungen des Nerven in Folge der Temperaturerhöhung bis 54° C. gewonnen, wenn nicht noch ein Zweifel hinsichts des Wesens derjenigen Widerstandsveränderungen möglich wäre, welche zur Widerstandsabnahme unmittelbar in Folge der Temperaturerhöhung sich hinzufügen. Da diese nach Fig. 17. nicht nur von der Höhe, sondern auch von der Dauer der Temperatur abhängen, sind sie zweifellos nur mittelbare Folgen der Temperaturerhöhung, und dies im Verein mit ihrem Verlaufe macht es höchst wahrscheinlich, dass sie nichts Anderes als die beschleunigten Widerstandsveränderungen mit der Zeit sind, für welche wir sie bisher stets angesprochen haben, um so mehr, als schon unsere Erfahrungen im § 5 (3) eine Beschleunigung der Widerstandsveränderungen mit der Zeit als Folge der Temperaturerhöhung ergeben haben. Immerhin aber muss ein directer Nachweis hier erwünscht sein, und die Möglichkeit eines solchen bietet sich uns auf Grund der Ueberlegung dar, dass die einmal abgelaufenen Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit nicht nochmals durch die Temperaturerhöhung sich werden herbeiführen lassen. Wiederholen wir also die voraufgegangenen Versuche (der zweiten und dritten Art), welche dort an frischen Nerven angestellt sind, ganz ebenso an nicht frischen Nerven, so werden an den letzteren einmal überhaupt nur diejenigen Veränderungen zur Beobachtung kommen dürfen, welche wir an den ersteren Nerven bei höheren Temperaturen aufgefunden haben, und sodann werden auch diese Veränderungen unter sonst gleichen Umständen schon bei niedereren Temperaturen als an den frischen Nerven auftreten müssen; und der Unterschied der erforderlichen Temperaturen wird desto grösser sein müssen, je weiter an den nicht frischen Nerven die Widerstandsveränderungen mit der Zeit bereits vorgeschritten sind.

Alle diese Erwartungen erfüllen sich nun in der That und zwar ebensowohl, wenn man lange vom lebenden Gesammtorganismus getrennte und bei der Zimmertemperatur aufbewahrte Nerven, wie wenn man erst vor Kurzem vom lebenden Gesammtorganismus getrennte und nur schon ein Mal vor 10—15 Minuten einer höheren Temperatur ausgesetzte Nerven zu den Versuchen verwendet. In beiden Fällen hat, wenn die Nervenstrecke vor der Erwärmung das zweite Maximum ihres Widerstandes bereits überschritten hatte, die Temperaturerhöhung, sie mag so gross sein wie sie wolle, nur eine Abnahme von Φ (oder w_{ab}) zur Folge; und beim Erkalten nimmt Φ zu, erlangt jedoch seine frühere Grösse nicht wieder. Hatte der Widerstand der Nervenstrecke vor der Erwärmung das zweite Maximum noch nicht erreicht, so wächst bei mässiger Erwärmung Φ (oder w_{ab}) noch an, bei jeder höheren Erwärmung aber und darunter auch gerade bei derjenigen Erwärmung, welche am frischen Nerven die grösste Zunahme von

Φ herbeigeführt hätte, nimmt Φ (oder w_{ab}) ab. Und der Art sind auch die Ergebnisse aller übrigen Versuche, die mit vielfachen Modificationen sich hier noch anstellen lassen. Es kann also kein Zweifel mehr daran sein, dass es wirklich die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit sind, welche, durch die Temperaturerhöhung in ihrem Ablaufe beschleunigt, zu der Widerstandsabnahme des Nerven unmittelbar in Folge der Temperaturerhöhung sich hinzufügen und sie verdecken.

Aber noch eine wichtige Frage harrt der Entscheidung, die nämlich, ob die Beschleunigung der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit eine specifische Wirkung der Wärme ist. Bei oberflächlicher Betrachtung der Dinge kann die Frage allerdings müssig erscheinen, da wir doch bei den Versuchen der ersten und zweiten Art in demselben Wasserdampfe und bei den Versuchen der dritten Art bei derselben Application des Oeles, sobald nur Wasserdampf oder Oel verschiedene Temperaturen hatten, die Widerstandsveränderungen mit der Zeit verschieden rasch haben ablaufen sehen. Allein wenn man den Dingen auf den Grund geht, erweisen sich unsere Erfahrungen doch noch zweideutig.

Wir haben im § 5. gesehen, dass der Ablauf der Widerstandsveränderungen mit der Zeit an dem isolirten Nerven rascher erfolgt als an dem im Schenkel verbliebenen Nerven oder, wie wir auch sagen können, wenn wir der Kürze halber nur einen Theil der Widerstandsveränderungen mit der Zeit in's Auge fassen, der Tod an dem ersteren Nerven früher eintritt als an dem letzteren Nerven. Die Ursache hiervon kann darin gelegen sein, dass gewisse Einflüsse, welche im Thierkörper den Tod des Nerven verzögern, für den isolirten Nerven in Wegfall gekommen sind. Daneben ist es aber auch möglich, dass der mit Wasserdampf erfüllten Luft, welche den isolirten Nerven bei unseren Versuchen umgiebt, geradezu eine schädliche, den Tod beschleunigende Wirkung auf den Nerven zukommt. Alsdann lässt sich, was wir als die unmittelbare Wirkung der verschiedenen Temperaturen hingestellt haben, auch so erklären, dass nur die schädliche Wirkung des den Nerven umgebenden Mediums mit der Zunahme der Temperatur gewachsen ist, weil das Medium entweder besseren Zutritt zum Nerven oder auch diesen angreifbarer gefunden hat. Und was wir hier für den uns nächsten Fall ausgeführt haben, würde erst recht auch gültig sein, wenn wir die Nervenstrecke *ab* für die Erwärmung mit Wasser oder Oel umgeben hätten, da in beiden Flüssigkeiten der Nerv noch rascher dem Tode verfällt als in mit Wasserdampf gesättigter Luft von gleicher Temperatur.

Viel eher beweisen daher schon die specifische Wirkung der Wärme unsere Versuche der dritten Art, weil bei ihnen das erwärmte Oel mit der Nervenstrecke *ab* gar nicht in Berührung gekommen ist. Aber auch hier

ist noch ein Einwand möglich. Man kann sagen, dass, weil die Nervenflüssigkeit durch die ganze Länge des Nerven hindurch zusammenhängt, von dem vom Oele umflossenen Nervenstücke aus, sobald in ihm durch das erwärmte Oel eine chemische Umsetzung hervorgerufen war, ausser der Wärme noch ein schädliches Umsetzungsproduct der Nervenflüssigkeit zur Nervenstrecke *ab* hat hingeleitet werden und ferner mit der Wärme des Oeles die Menge der nach *ab* gelangten schädlichen Substanz hat wachsen können. Und in ähnlicher Weise lässt sich endlich auch hinsichts der letzten hierhergehörigen Thatsache, welche zur Zeit vorliegt, ein Bedenken erheben, hinsichts der Erfahrung nämlich, dass im Thierkörper selbst der Nerv bei höheren Temperaturen rascher dem Tode verfällt als bei niedereren Temperaturen. Denn es ist dabei nicht ausgeschlossen, dass ausserhalb des Nerven in der Umgebung desselben eine schädliche Substanz und mit wachsender Temperatur in wachsender Menge entsteht, die dann durch Diffusion in den Nerven gelangt und seinen Tod beschleunigt, oder dass umgekehrt eine ausserhalb des Nerven entstehende und den Tod des Nerven verzögernde Substanz mit der Zunahme der Temperatur an Menge abnimmt.

Unter diesen Umständen dürfen wir bei der grossen Bedeutung, welche der uns beschäftigenden Frage zukommt, eine strengere Beantwortung derselben, zu welcher die Möglichkeit sich uns bietet, nicht versäumen. Der Einwand, der vorhin als gegen die Beweisfähigkeit unserer Versuche der dritten Art noch möglich hingestellt wurde, ist nur zulässig, der so rasche Transport eines Umsetzungsproductes der Nervenflüssigkeit von dem vom Oele umflossenen Nervenstücke zur Nervenstrecke *ab* hin ist nur denkbar, wenn diesen Transport die durch den ganzen Nerven continuirliche Nervenflüssigkeit selbst vermittelt. Wir wollen daher unsere Versuche der dritten Art noch wiederholen, nachdem wir den Nerven N an einer zwischen b und dem Napfrande gelegenen Stelle und, um keine Ungleichheit herbeizuführen, auch den Nerven N_1 an der gleichen Stelle unterbunden haben. Die Wärmeleitung von dem vom Oele umflossenen Nervenstücke zur Nervenstrecke *ab* hin ist dann durch die vom Unterbande umfassten Nervenhüllen noch ermöglicht, und wir begünstigen sie zudem dadurch, dass wir einen nassen, mit 1 %iger Kochsalzlösung getränkten Faden zum Unterbande verwenden. Die Communication der Nervenflüssigkeit des Nerven N zu beiden Seiten des Unterbandes ist dann aber aufgehoben, und die etwaigen Umsetzungsproducte der Nervenflüssigkeit in dem vom Oele umflossenen Nervenstücke können nach *ab* nur auf dem Wege der Diffusion mittelbar durch die Feuchtigkeit der Nervenhüllen und des Unterbindungsfadens, also jedenfalls sehr viel langsamer als vorher gelangen.

Die Wiederholung unserer Versuche der dritten Art mit dieser Modification liefert jedoch die früheren Ergebnisse wieder. Nur manchmal scheinen bei gleichem Abstande zwischen *b* und dem Napfrande und bei gleicher Temperatur des Oeles (zur Zeit des Einfüllens desselben in den Napf) die Erscheinungen jetzt einem ein wenig geringeren Grade der Veränderung von *ab* zu entsprechen als vorher, wie wenn dort das Oel etwas weniger warm oder der Abstand zwischen *b* und dem Napfrande etwas grösser gewesen ist: und dies erklärt sich einfach dadurch, dass jetzt die Wärmeleitung an der Unterbindungsstelle immerhin doch gegen früher verschlechtert sein kann. Irgend grössere Abweichungen von den früheren Ergebnissen, wie man sie mindestens erwarten müsste, treten aber nicht auf; und es ist daher die Beschleunigung des Nerventodes und der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit als specifische Wirkung der Wärme anzuerkennen.

Unsere Kenntniss des Einflusses der Temperatur zu vervollständigen, bleiben uns noch die unter 16° und über 54° C. gelegenen Temperaturen zu behandeln.

Selbstverständlich beschränkt man die voraufgegangenen Versuche der ersten und zweiten Art nicht von vornherein in der Weise, dass die Temperatur des Wasserdampfes, in welchen man den Nerven bringt, nie über 54° C. liegt. Allein sehr bald stellt sich etwas über der vorbehandelten höchsten Temperatur eine natürliche Grenze der Untersuchung heraus. Denn während bis zu 54° C. keine Gestaltsveränderung des Nerven zu constatiren ist, nimmt von c. 58° C. an der Nerv an Länge ab und an Querschnitt zu und zwar mit wachsender Temperatur immer mehr, bis er auf etwa die Hälfte seiner Länge geschrumpft ist und dafür an Dicke beträchtlich gewonnen hat. Die Veränderungen des specifischen Widerstandes des Nerven mit der Temperatur, auf welche allein es uns ankommt, sind alsdann nicht mehr sicher zu verfolgen, weil die Gestaltsverschiedenheiten der betrachteten Nervenstrecken in ihrem Einflusse auf den absoluten Widerstand derselben zu wenig genau sich in Rechnung bringen lassen. Es ist deshalb auch im Speciellen Nichts darauf zu geben, dass von 54° C. an mit wachsender Temperatur zuerst noch eine Abnahme, darauf aber eine Zunahme des Widerstandes sich zeigt; und nur das kann entschieden werden, dass mit der Gerinnung des Eiweisses im Nerven wiederum eine Zunahme des specifischen Widerstandes des Nerven verbunden ist. Vergleicht man eine in Wasserdampf von 80—100° C. auf 5 Min. und mehr gebrachte Nervenstrecke nach ihrem Erkalten mit einer gleich langen und anatomisch möglichst analogen frischen Nervenstrecke des zweiten Nerven desselben Thieres, so findet man den Widerstand beider Nervenstrecken von ohngefähr gleicher Grösse; und da der Querschnitt der ersteren Ner-

venstrecke viel grösser ist als der der letzteren, ist also der specifische Widerstand der ersteren Nervenstrecke grösser als der der letzteren Nervenstrecke.

Der genaueren Untersuchung ist dagegen wieder zugänglich der Einfluss der Temperaturen von 0—16° C., welche ebensowenig, wie die zuerst behandelten Temperaturen, eine Gestaltsveränderung des Nerven herbeiführen.

Giesst man bei Versuchen der dritten Art — wiederum bei einer Zimmertemperatur von 16—17° C. — auf 0° erkaltetes Oel in den Napf, so verändert sich bei mehr als 12mm Abstand *Φ* (oder w_{ab}) nach dem Eingiessen kaum anders als vorher. Bei geringerem Abstande aber wächst *Φ* nach einer kurzen ohngefähren Constanz langsam an; und bei weniger als 6mm Abstand zeigt sich *Φ* sofort nach dem Eingiessen gewachsen und zwar desto mehr, je kleiner der Abstand zwischen *b* und dem Napfrande ist, und in den folgenden Minuten nimmt es noch langsam zu. Von dem Maximum aus, das *Φ* (oder w_{ab}) so erreicht und das seinen ursprünglichen Werth nie beträchtlich übertrifft, nimmt es darauf langsam wieder ab. Bei den Temperaturen unter 16° C. tritt demnach das Umgekehrte ein wie bei den Temperaturen über 16° C.: während bei diesen die Beschleunigung der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit durch die Erwärmung dessen Widerstandsabnahme unmittelbar in Folge der Erwärmung verdeckt, wird bei jenen die Verzögerung der Widerstandsveränderungen mit der Zeit durch die Erkaltung von der Widerstandszunahme unmittelbar in Folge der Erkaltung verdeckt. Denn da es rein willkürlich oder doch aus ganz äusseren Gründen geschehen ist, dass wir die Temperatur von 16° als Ausgangspunkt unserer Untersuchung nach beiden Seiten hin genommen haben, ist es nicht denkbar, dass die Verzögerung der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit, welche wir oberhalb 16° mit der Abnahme der Temperatur verbunden gefunden haben, nicht auch nach unten hin noch über 16° hinaus statthaben sollte. Unser Ergebniss hätte aber wohl sich vorhersehen lassen, da, wenn die Widerstandsveränderungen mit der Zeit mit der Temperaturabnahme mehr und mehr verzögert werden, endlich einmal die Widerstandszunahme unmittelbar in Folge der Erkaltung die Oberhand gewinnen und ihr Uebergewicht mit weiterer Abnahme der Temperatur immer mehr zunehmen muss.

Eine Vervollkommnung, deren unsere Versuche hier fähig sind, gestattet denn auch, die Verzögerung der Widerstandsveränderungen mit der Zeit als mittelbare Folge der Temperaturabnahme auch bei den Temperaturen unter 16° C. vorzuführen. Bei den eben angestellten Oel-Versuchen liess sich die Abnahme von *Φ* auf die der Erkaltung der Nervenstrecke *ab* bald nachfolgende Wiedererwärmung derselben schieben. Dies geht aber

nicht mehr an, wenn wir durch Einbringen von Eisstückchen in das Oel die Erwärmung desselben verhindern oder statt des Oeles Eis verwenden. Für die Versuche mit Eis legen wir das Wirbelende des Nerven N zuerst so auf eine Glasröhre, dass es bequem und ohne irgend b auf z_1 zu verrücken, von ihr wieder abgehoben und auf ein anderes zur Seite von z_1 passend angebrachtes Stativ übertragen werden kann; auf dieses Stativ bringen wir dann zu der Zeit der Versuche, zu welcher wir sonst das Oel in den Napf gossen, ein Stück Eis und legen seiner freien oder mit Froschhaut bekleideten[1] oberen Fläche das Wirbelende des Nerven auf. Die Nervenstrecke ab behält bei den neuen Versuchen die niederste Temperatur, die sie annimmt, bei. Trotzdem nimmt auch hier Φ_1 nachdem es ein Maximum erreicht hat, ab: es wächst also w_{ab} langsamer mit der Zeit als $w_{\alpha\beta}$. Heben wir darauf bei den Eisversuchen das Wirbelende des Nerven N vom Eise ab und legen es auf die Glasröhre zurück, so nimmt unmittelbar danach, ganz im Einklange damit, dass ab jetzt wärmer wird, Φ rascher als vorher ab.

Die Oel-Versuche sind hier übrigens etwas zuverlässiger als die Eis-Versuche. Denn es ist bei den letzteren Versuchen nicht zu verhüten, dass die Temperatur von ab, nachdem sie ein Minimum erreicht hat, doch wieder etwas, wenn auch nur ganz langsam zunimmt, weil mit dem Schmelzen des Eisstückes an dem z_1 zugekehrten Rande der Abstand zwischen dem Eise und b allmählich sich vergrössert. Dass der dadurch bedingte Fehler der Versuche jedoch nur unbedeutend ist und die Abnahme von Φ in den Versuchen nur zu einem kleinen Theile veranlasst hat, lässt sich schon durch die grobe Correction des Fehlers, indem man das Eis während des Versuches verschiebt, so dass der Abstand zwischen ihm und b unverändert bleibt, nachweisen. Und noch sicherer wird es durch die Wiederholung der Eisversuche erhärtet, nachdem man an Stelle von ζ, ζ_1 und $\alpha\beta$ unseren constanten Vergleichswiderstand, die Capillarröhre, aufgenommen hat. War w_{ab} vor der Application des Eises sehr langsam gewachsen, so folgt alsdann der raschen Zunahme, die in den ersten Minuten nach der Application stets statthat, in Folge des Schmelzens des Eises eine Abnahme von w_{ab} nach, die jedoch der Abnahme von Φ in den früheren Versuchen gegenüber nur sehr gering ist; im anderen Falle, wenn w_{ab} vor der Application rascher gewachsen war, tritt statt der Abnahme nur eine verlangsamte Zunahme von w_{ab} auf.

Es wird der Bemerkung nicht bedürfen, dass bei den Versuchen, von welchen wir gesagt haben, dass sie die Verzögerung der Widerstandsver-

1) In diesem Falle hatte das Stück Froschhaut stets schon lange vorher auf dem Eise gelegen und kehrte seine äussere Fläche dem Eise zu.

änderungen mit der Zeit darthun, diese nicht überall unmittelbar aus der Abnahme von Φ zu folgern ist, da ja Φ, sobald es grösser als 1 ist, auch dann abnehmen muss, wenn w_{ab} und $w_{\alpha\beta}$ um gleiche Werthe wachsen. In jenen Versuchen ist vielmehr Φ, wenn es sein Maximum in Folge der Erkaltung von *ab* erreicht hat, nie beträchtlich grösser als 1, und seine Abnahme ist dann zu gross, als dass sie durch ein gleiches Wachsen von w_{ab} und $w_{\alpha\beta}$ sich erklären liesse; zudem finden sich auch Versuche, in welchen Φ, wenn es sein Maximum erreicht hat, kleiner als 1 oder ohngefähr = 1 ist, und hier ist die Abnahme von Φ für das langsamere Wachsen von w_{ab} sofort beweisend. Der nächste Schritt, den wir weiter thun, zeigt denn auch, dass wir keiner Täuschung verfallen sind. Unsere bisherigen Versuche haben wir bei einer Zimmertemperatur von 16—17° C. angestellt. Wiederholen wir nunmehr die Versuche bei einer Zimmertemperatur von 18—20° C., so erfolgt die Abnahme von Φ, nachdem es sein Maximum erreicht hat, noch viel rascher als vorher: wie es mit unseren früher gewonnenen Erfahrungen in Uebereinstimmung ist. Stellen wir aber dieselben Versuche bei einer Zimmertemperatur von 13—15° C. an, so nimmt Φ, wenn es in Folge der Erkaltung von *ab* sein Maximum erreicht hat und grösser als 1 ist, nur sehr langsam ab, so dass seine Abnahme durch ein gleiches Wachsen von w_{ab} und $w_{\alpha\beta}$ sich erklären lässt; und wenn dann Φ ohngefähr = 1 oder kleiner als 1 ist, nimmt es kaum der Rede werth ab oder sogar noch weiter ein wenig zu. Und dieselben Ergebnisse der Versuche kehren dann immer wieder, wenn die Zimmertemperatur noch niedriger als 13° C. ist.

Nach diesen Erfahrungen ist die Verzögerung der Widerstandsveränderungen mit der Zeit als mittelbare Folge der Temperaturabnahme von c. 14° C. an so gering, dass man ohne wesentlichen Fehler sagen kann, es sei ihr bei dieser Temperatur überhaupt eine Grenze gesetzt. Aber es ist nicht zu verkennen, dass unsere Versuche sich hier zu einer solchen Feinheit zugespitzt haben, dass eine anderweite und einfachere Sicherstellung dieses Ergebnisses mit Recht gewünscht werden dürfte. Wir erlangen sie, wenn wir nunmehr auch noch bei den niederen Temperaturen unsere Versuche der ersten und zweiten Art ausführen.

Die Resultate der Versuche sind in den Figg. 17. und 18. zur Linken von (16) der Abscissenaxe graphisch dargestellt und ohne weitere Angaben verständlich, da auf der linken Seite der Figuren Alles der rechten Seite derselben entsprechend gehalten ist. Die den Curven zu Grunde liegenden Bestimmungen sind durch Auflagerung des Nerven *N* auf Eis oder durch Einbringen desselben in einen auf c. 0° abgekühlten feuchten Raum bei verschiedenen unter 17° C. gelegenen Zimmertemperaturen gewonnen. Die Curven für die 2 und 5 Minuten lange Erkaltung des Nerven sind fortge-

blieben, weil die erstere Curve mit der für die 1 Minute andauernde Erkaltung wegen der Ungenauigkeit der Bestimmungen zusammenfällt und für die letztere Curve zu wenige Bestimmungen vorliegen.

Wie diese Resultate die Richtigkeit unserer durch die früheren Versuche gewonnenen Einsicht verbürgen, das genauer auszuführen dürfen wir wohl unterlassen. Wir wollen nur hervorheben, wie die Ergebnisse besonders der 15 Minuten andauernden Erkaltung keinen Zweifel mehr daran lassen, dass in der That unterhalb c. 14° C. die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit keine bemerkenswerthe Verzögerung mehr in Folge der Temperaturabnahme erfahren. Ist die Zimmertemperatur 16° C. und höher, so ist Φ bei der ersten Bestimmung nach der Erkaltung von N verkleinert und nimmt in den nächsten Minuten noch wesentlich ab, so dass es, wenn ab zur Zimmertemperatur zurückgekehrt ist, beträchtlich kleiner als vor der Erkaltung von N ist: ist hingegen die Zimmertemperatur 14° C. und niedriger, so ist Φ bei der ersten Bestimmung nach der Erkaltung von N beträchtlich vergrössert, und wenn es auch in den nächsten Minuten beträchtlich abnimmt, so hat es doch, wenn ab zur Zimmertemperatur zurückgekehrt ist, nur ohngefähr die Grösse wiedererlangt, welche es vor der Erkaltung von N besass[1].

Aber noch in einer anderen Beziehung sind diese Ergebnisse für uns werthvoll. Nach unseren Ermittelungen über den Einfluss der höheren Temperaturen hätte man von vornherein vielleicht daran denken können, die Zunahme von Φ (oder w_{ab}), welche wir mit der Erkaltung von ab verbunden gefunden haben, gleichfalls einer Beschleunigung der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit zuzuschreiben, so dass eine solche Beschleunigung ebensowohl erfolgte, wenn die Temperatur des Nerven von einer gewissen Normaltemperatur nach oben hin, wie wenn sie von ihr nach unten hin abwiche. An dieser Auffassung der Zunahme von Φ hat uns nun allerdings schon die Abnahme verhindert, welche wir bei den Versuchen der dritten Art der anfänglichen Zunahme von Φ haben folgen sehen: durch die letzten Ergebnisse ist aber auch gewissermassen im Groben die Unrichtigkeit der Auffassung dargethan, und die Ursache der Zunahme von Φ bei der Erkaltung von N ist nunmehr unbedingt darin zu erkennen, dass der Widerstand der Nervenflüssigkeit, wie der aller anderen Flüssigkeiten, mit der Temperaturabnahme wächst. Zum Ueberflusse mag noch angeführt sein, dass auch bei den Versuchen an todten Nerven Φ bei der ersten Bestimmung nach der Erkaltung stets vergrössert ist und

1) Bei niederer Temperatur des Arbeitszimmers hat man es also durch zeitweise Heizung desselben ganz in seiner Gewalt, abwechselnd die einen und die anderen Ergebnisse bei denselben Versuchen zu erzielen.

in den nächsten Minuten abnimmt, während hier nie eine Abnahme von Φ bei der ersten Bestimmung nach der Erkaltung von N zur Beobachtung kommt.

Kühlt man bei den letzten Versuchen durch Auflegen auf Eis den Nerven ab, so muss man sich vor einem sehr leicht zu begehenden Fehler hüten. Es ist schon oben S. 33. hervorgehoben worden, dass der Nerv für alle unsere Versuche von anhaftendem Bindegewebe und Gefässen vollkommen frei sein muss; und um darüber Gewissheit zu erlangen, gewöhnt man sich bald daran, jeden Nerven vor der Auflagerung noch über eine reine Stelle der Porzellanplatte, auf welcher man die Präparation vorgenommen hat, einige Male zu schleifen, wobei dann auch die etwa dem Nerven aussen anhaftende Flüssigkeit beseitigt wird. Legt man nun den Nerven auf Eis und bringt ihn vom Eise sofort wieder auf die Zuleitungsröhren, so ist jetzt — auch wenn der Nerv durch Froschhaut vom Eise getrennt war — seine Oberfläche, wie deren Glanz schon erkennen lässt, mit Flüssigkeit bedeckt, und die dadurch gesetzte Querschnittsvergrösserung von *ab* ist im Stande, die Zunahme von Φ in Folge der Erkaltung von N mehr oder weniger zu verdecken und sogar an ihrer Stelle eine Abnahme von Φ bei der ersten Bestimmung desselben zur Beobachtung kommen zu lassen, oder aber die Abnahme von Φ in Folge der Erkaltung von N zu gross darzustellen. Man muss deshalb den Nerven nach seiner Entfernung von dem Eise, bevor man ihn wieder auf die Zuleitungsröhren bringt, noch rasch einige Male über die Porzellanplatte schleifen, um die aussen anhängende Flüssigkeit zu entfernen. Von der Bedeutung der anhaftenden Flüssigkeit und davon, dass nur sie die Resultate trübt, überzeugt man sich dann einfach auf die Weise, dass man den Nerven wiederholt z. B. auf 1 Minute auf Eis lagert, die anhaftende Flüssigkeit aber bald entfernt bald nicht entfernt: im Extrem findet man alsdann Φ im ersten Falle sofort gewachsen, im zweiten Falle sofort verkleinert, und beide Male nimmt Φ in den nächsten Minuten ab.

Bringt man den Nerven in einen auf 0° abgekühlten feuchten Raum, so fällt natürlich die eben besprochene Fehlerquelle weg. Dafür tritt eine andere auf, die für die Temperaturversuche im Allgemeinen vorhanden ist und deren Betrachtung wir deshalb oben S. 240. für diesen Ort aufgespart haben. Im kalten Raume muss nämlich der wärmere Nerv an die umgebende Luft, welche er erwärmt, Wasser abgeben, und wenn der Nerv darauf in die wärmere Kammer zurückgebracht ist, muss an ihm Wassergas sich condensiren. Umgekehrt muss an dem in das Dampfbad gebrachten Nerven Wassergas sich condensiren und später, wenn der Nerv wieder in die kältere Kammer gekommen ist, Wasser von ihm abdunsten. Diese unvermeidliche Fehlerquelle der Versuche scheint auf den ersten Blick sehr

misslich, ist es jedoch bei näherer Betrachtung keineswegs. Denn eine eigentliche Veränderung seines Wassergehaltes wird der Nerv, wenn er auf die Kammertemperatur zurückgekehrt ist, gegenüber der Zeit vor seiner Erkaltung resp. Erwärmung nicht erfahren haben, vielmehr wird nur das vorher von ihm abgedunstete Wasser dann wieder an ihm condensirt resp. das an ihm condensirte Wasser dann wieder von ihm abgedunstet sein. Der durch die in Rede stehenden Veränderungen bedingte Fehler beschränkt sich danach bei unseren durch Fig. 18. dargestellten Erfahrungen auf die ausgezogene Curve und lässt sich für sie dahin präcisiren, dass ihre sämmtlichen Ordinaten von (16) der Abscissenaxe aus nach rechts hin etwas zu klein, nach links hin etwas zu gross und zwar desto mehr zu klein resp. zu gross sind, je grösser die Abstände ihrer Fusspunkte von (16) der Abscissenaxe sind. Die gestrichelte Curve und auch die voraufgegangenen Erörterungen der Fig. 18. ergeben alsdann, dass der Fehler nur klein sein kann, und bei der Ungenauigkeit, welche unseren Bestimmungen von Φ ohnedies schon anhaftet und die ausgezogene Curve für nur im Grossen und Ganzen richtig uns anerkennen lässt, hat der Fehler gar keine Bedeutung weiter. Auf unsere durch Fig. 17. dargestellten Erfahrungen ist dann aber die Fehlerquelle erst recht ohne Einfluss, da hier der Fehler bei sämmtlichen derselben Abscisse zugehörigen Ordinaten der verschiedenen Curven der gleiche oder wenigstens ohngefähr der gleiche ist. Und bei dieser Sachlage ist es nicht lohnend, uns noch weiter mit der Fehlerquelle zu beschäftigen, deren Unschädlichkeit sonst noch durch mehrere der voraufgegangenen Erfahrungen sich darthun liesse.

Unsere Untersuchung der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Temperatur ist hiermit abgeschlossen, und wir haben nur noch einiger hierhergehörigen Angaben zu gedenken, welche von *Harless* und *Ranke* gemacht sind.

Harless hat sich »an vielen Präparaten überzeugt, dass Nerven, wenn sie zuerst bei 16° untersucht worden waren, dann 10—15 Minuten in der feuchten Wärme von 32—34° R. gehangen hatten, und dann in die alte Temperatur zurückgebracht wurden, in kurzer Zeit genau (den ursprünglichen Durchmesser und) den ursprünglichen Leitungswiderstand wieder gewonnen hatten[1].« Diese Angabe kann nicht Wunder nehmen, wenn man sich der Erfolglosigkeit von *Harless'* Versuchen bei dem natürlichen Absterben des Nerven erinnert (s. o. S. 234.), zumal da bei diesem noch grössere Verschiedenheiten des Widerstandes des Nerven als unter dem

1) *E. Harless,* Ueber den Einfluss der Temperatur und ihrer Schwankungen auf die motorischen Nerven. *Henle's* und *Pfeufer's* Zeitschr. für ration. Medizin. 3. Reihe. Bd. VIII. (1860.) S. 133*.

Einflusse verschiedener Temperaturen zu constatiren sind: die von *Harless* angewandte Methode der Widerstandsbestimmung ist für die Temperaturversuche sicherlich viel zu wenig empfindlich gewesen. Aber selbst mit einer empfindlicheren Methode würde *Harless,* indem er so einzelne Temperaturgrade herausgriff und die Thiere ohne Auswahl zu den Versuchen verwandte, schwerlich zu guten Ergebnissen gelangt sein; denn in das Chaos, welches anfangs hier zu herrschen scheint, vermag man nur mit einer systematischen Untersuchung einzudringen und mit Vortheil auch nur dann, wenn man mindestens mit den Vorkenntnissen ausgerüstet ist, welche wir bei unserer Untersuchung besassen. Wenn übrigens bei *Harless* »die astatische Nadel des grossen Galvanometer mit 7200 Windungen immer wieder genau auf denselben Punkt getrieben wurde, welchen sie mit bleibender Ablenkung bei dem frischen Nerv vor der Einwirkung der feuchten Wärme erreicht hatte«[1], so ist daraus mit Sicherheit zu entnehmen, dass der Widerstand der Nervenstrecke in den *Harless*'schen Versuchen — den Elektroden (s. u. Kap. V.) und der verhältnissmässig grossen Stromintensität der Versuche entsprechend — sehr rasch nach der Schliessung der Kette in Folge der Durchströmung gewachsen ist und nichts Anderes von *Harless* bestimmt worden ist als der durch den Strom beträchtlich vergrösserte Widerstand der Nervenstrecke zu der Zeit, zu welcher er nur noch langsam sich veränderte. Schon deshalb konnte also von der Wahrnehmung irgend einer Widerstandsveränderung des Nerven mit der Temperatur bei *Harless* nicht die Rede sein; und es wird nur einer der zahlreichen Fehlerquellen, welche durch die Folgen der Durchströmung bei jener Untersuchung weiter gesetzt waren, zuzuschreiben sein, dass *Harless* den Widerstand des frischen Nerven, nachdem 4 Min. lang die feuchte Wärme von 34,5° R. auf ihn eingewirkt hatte, fast nur halb so gross gefunden hat[2], als er vorher und auch 10 Min. nach der Einwirkung der Wärme bei einer Temperatur des feuchten Raumes von 16,5° R. war[3].

1) *Harless*, a. a. O. S. 134*.

2) *Ders.*, a. a. O. S. 135*.

3) Bei *Harless* findet sich noch eine Bemerkung, welche wir nicht mit Stillschweigen übergehen dürfen. »Untersucht man Nerven«, sagt *Harless* a. a. O. S. 177—8*, »welche den höheren Temperaturgraden in feuchter Luft ausgesetzt werden, so findet man, wenn man den präparirten Nerv nur an seinem einen Ende befestigt, frei und unbelastet in den warmen Raum hängt, Beispielsweise folgende Aenderungen in der Länge der Nerven: bei 34,4° R. Verkürzung um 13,3%, bei 45,6° R. um 44%, bei 49,6° R. um 48%, bei 57° R. um 48%, bei 64,8° R. um 54,7%. Daraus ergiebt sich, dass der grösste Sprung in Beziehung auf die Verkürzung zwischen 46 und 50° R. fällt, dann ein zweiter auffallender wieder zwischen 58 und 65° R. Bei 65° R. hat sich der ganze Nerv um die Hälfte seiner ursprünglichen Länge verkürzt.« Hier lassen sich die Worte mit den Zahlenangaben nur in Einklang bringen, wenn man einen misslichen und vom verstorbenen Verfasser nirgends berichtigten Druckfehler annimmt, der Wahrheit am nächsten in der Weise, dass es statt 44% Verkürzung bei 45,6° R. 14% heissen soll. Alsdann sind unsere Wahrnehmungen mit *Harless*' Messungen hinsichts der Verkürzung

Ranke hat, nachdem der Widerstand von Frosch-Muskeln, wenn sie durch 5 Minuten langes Erwärmen in Wasser oder Quecksilber oder Wasserdampf auf 45° C. todtenstarr geworden waren, auf etwa ein Drittheil verringert sich ergeben hatte, auch frische Rinder- und Kaninchen-Nerven 5 Min. lang auf 45° C. erwärmt, nach der Abkühlung auf die Anfangstemperatur aber ihren Widerstand (ebenso wie wenn die Erwärmung auf 100° C. erfolgt war) unverändert gefunden[1]. Indem wir diese Angabe aufführen, gehen wir hier, wie oben S. 234., von der wohlberechtigten Voraussetzung aus, dass die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit und mit der Temperatur bei dem Säugethiernerven im Wesentlichen dieselben sind wie bei dem Froschnerven und nur die Zeiten resp. die Temperaturen verschieden sind, welche die gleichen Widerstandsveränderungen bei beiderlei Nerven herbeiführen. Eben deshalb wollen wir auch an der Möglichkeit festhalten, dass die Angabe von *Ranke* richtig ist, obwohl diesen der zu kleine Vergleichswiderstand und die Unkenntniss der Widerstandsveränderungen in Folge der Durchströmung an der Constatirung aller nicht gerade beträchtlichen Widerstandsveränderungen des Nerven gehindert haben müssen. Dass indessen *Ranke* durchaus nicht berechtigt war, daraus, dass bei 45° C. der Muskel todtenstarr wird und an Leitungsfähigkeit gewinnt, der Nerv aber an seinem Widerstande keine Veränderung erfährt, zu schliessen, dass das Absterben bei dem Nerven vollkommen ohne nachweisbaren Einfluss auf den Leitungswiderstand bleibt, liegt auf der Hand, zumal da dort der Froschmuskel und hier der Säugethiernerv seine Versuchsobjecte gewesen waren.

des Nerven von c. 58° C. an in Uebereinstimmung, nur dass wir die Verkürzung haben allmählicher wachsen sehen. Aber nach *Harless* ist auch bei 43—57° C. der Nerv um 13—14 % seiner Länge verkürzt, und dies widerspricht unseren Wahrnehmungen, besonders was die Temperaturen bis 54° C. betrifft, geradezu. Leider ist bei dem *Harless*'schen Beispiele nicht angegeben, wie lange die betreffenden Temperaturen eingewirkt hatten, und die verschiedenen Wahrnehmungen sind vielleicht in der verschieden langen Einwirkung der Temperaturen begründet; es ist aber auch nicht zu übersehen, dass *Harless* weder über die Temperatur, bei welcher die Verkürzung des Nerven beginnt, noch auch darüber etwas verlauten lässt, wo der erste grosse Sprung in der Verkürzung des Nerven gelegen ist, der nach seinen obigen Zahlen irgendwo zwischen 20 und 43° C. sich finden muss, und dass danach *Harless* die Verkürzung des Nerven bei den weniger hohen Temperaturen gar nicht so genau verfolgt zu haben scheint, dass auf die in Rede stehende Angabe besonderes Gewicht zu legen wäre. Wenn nun auch bei unseren Messungen der Längen der beiden zu jedem Versuche verwandten Nerven nur ganz geringe Verkürzungen uns haben entgehen können, so wollen wir doch darauf aufmerksam zu machen nicht unterlassen, dass selbst eine der von *Harless* angegebenen Verkürzung entsprechende Querschnittsvergrösserung des Nerven unterhalb 54° C. von keinem irgend wesentlichen Einflusse auf unsere Versuchsergebnisse gewesen sein könnte. Es versteht sich am Ende von selbst, dass mit den Veränderungen der Temperatur, mit welchen feste wie flüssige Körper ihr Volumen ändern, der Querschnitt des Nerven ein wenig schwanken kann: über das rein Illusorische solcher Rechnungen aber, wie sie *Harless* a. a. O. S. 135.* ausführt, werden wir kein Wort weiter zu verlieren brauchen.

1) *Ranke*, Der galvanische Leitungswiderstand u. s. w. S. 35—7*. (Tetanus, S. 38—9*.)

Versuche der ersten Art.

Versuch 94.

11 *h.* 25 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ††.
34 *m.* Der rechte Ischiadicus ist auf ζ und ζ_1 gelegt. Der linke Ischiad. wird in Dampfbad von c. 34°C. gebracht.
39 *m.* Der linke Ischiad. auf z und z_1 gelegt.
40 *m.* *K* geschlossen (1 Daniell). Stromeintritt bei *a* und *α*.
7″. 655. *Φ* nimmt ab.
41 *m.* 641. Kammertemperatur: 16°C.
42 *m.* 633.
44 *m.* 612.
47 *m.* 593. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *b* und *β*.
7″. 606. *Φ* nimmt zu.
48 *m.* 612.
49 *m.* 617.
51 *m.* 628.
53 *m.* 634. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. — Ihre Wirbelenden lagen nach rechts, ihre Muskelenden nach links. — *ab* u. $\alpha\beta = 8^{mm}$; *al* u. $\alpha\lambda = 12^{mm}$; *bo* u. $\beta o = 8^{mm}$; *br* u. $\beta\varrho = 40^{mm}$.

Versuch 95.

8 *h.* 53 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ††.
9 *h.* 0 *m.* Der linke Ischiad. ist auf ζ und ζ_1 gelegt. Der rechte Ischiad. wird in Dampfbad von c. 37°C. gebracht.
5 *m.* Der rechte Ischiad. auf z und z_1 gelegt.
6 *m.* *K* geschlossen (1 Dan.). Stromeintritt bei *b* und *β*.
15″. 837. *Φ* nimmt ab.
7 *m.* 833. Jetzt nimmt *Φ* zu. Kammertemperatur: 16°C.
8 *m.* 850.
10 *m.* 883.
12 *m.* 913. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintrittt bei *a* und *α*.
10″. 850. *Φ* nimmt ab.
13 *m.* 808.
14 *m.* 797.
16 *m.* 793. *Φ* nimmt jetzt zu.
18 *m.* 796. *K* geöffnet. — ²/₃ sc Ablenkung.

ab und $\alpha\beta = 8^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 13^{mm}$; *bo* und $\beta o = 5^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 35^{mm}$. — Sonst wie beim vorigen Versuche.

Versuche der zweiten Art.

Versuch 96.

2 *h.* 42 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ††.
50 *m.* Rechter Ischiadicus auf ζ und ζ_1, linker auf z und z_1 gelegt.
55 *m.* 710.
3 *h.* 0 *m.* 708.
Jetzt wird N in Dampfbad von 28° C. auf 1 Min. gebracht, und 40″ nach Herausnahme, nämlich
2 *m.* 738.
3½ *m.* 745. Kammertemperatur: 16° C.
7 *m.* 752.
12 *m.* 753.
21 *m.* 758.
Jetzt wird N in Dampfbad von 46° C. auf 1 Min. gebracht, und 45″ nach Herausnahme, nämlich
23 *m.* 822.
24 *m.* 826.
28 *m.* 839.
33 *m.* 839.
Jetzt wird N_1 in Dampfbad von 46° C. auf 1 Min. gebracht, und 35″ nach Herausnahme, nämlich
35 *m.* 656.
36 *m.* 656.
40 *m.* 658.
45 *m.* 658.

ab und $\alpha\beta = 8^{mm}$; al und $\alpha\lambda = 14^{mm}$; bo und $\beta o = 4^{mm}$; br und $\beta\varrho = 32^{mm}$. — Sonst wie beim vorigen Versuche.

Versuch 97.

12 *h.* 50 *m.* Mittelgrosse Ran. esc. ††.
57 *m.* Rechter Ischiad. auf z und z_1, linker auf ζ und ζ_1.
1 *h.* 2 *m.* 774.
7 *m.* 777.
Jetzt wird N in Dampfbad von 32° C. auf 1 Min. gebracht, und 35″ nach Herausnahme, nämlich
9 *m.* 774.
10 *m.* 778. Kammertemperatur: 16° C.
13 *m.* 786.
18 *m.* 790.
Jetzt wird N in Dampfbad von 41½° C. auf 1 Min. gebracht, und 45″ nach Herausnahme, nämlich

1 h. 20 m. 806.
21 m. 811.
25 m. 828.
30 m. 835.

Jetzt wird N in Dampfbad von 48° C. auf 1 Min. gebracht, und 40″ nach Herausnahme, nämlich

32 m. 850.
33 m. 848.
37 m. 848.
42 m. 848.

ab und $\alpha\beta = 8^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 14^{mm}$; *bo* und $\beta o = 5^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 32^{mm}$. — Sonst wie bei den früheren Versuchen.

Versuch 98.

11 h. 10 m. Mittelgrosse Rana esc. ††.
18 m. Rechter Ischiad. auf z und z_1, linker Ischiad. auf ζ und ζ_1.
23 m. 757.
26 m. 758.

Jetzt wird N in Dampfbad von 27° C. auf 2 Min. gebracht, und 45″ nach Herausnahme, nämlich

29¼ m. 823.
30 m. 824. Kammertemperatur: 16° C.
32 m. 834.
35 m. 834.
38 m. 841.

Jetzt wird N_1 in Dampfbad von 24° C. auf 2 Min. gebracht, und 40″ nach Herausnahme, nämlich

41 m. 796.
42 m. 804.
44 m. 807.
47 m. 807.
50 m. 797.
56 m. 797.

Jetzt wird N in Dampfbad von 35° C. auf 2 Min. gebracht, und 40″ nach Herausnahme, nämlich

59 m. 885.
12 h. 0 m. 854.
2 m. 827.
5 m. 810.
8 m. 810.

ab und $\alpha\beta = 8^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 14^{mm}$; *bo* und $\beta o = 8^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 38^{mm}$. — Sonst wie bei den früheren Versuchen.

Versuch 99.

9 *h*. 43 *m*. Mittelgrosse Rana esc. ††.
51 *m*. Rechter Ischiad. auf ζ und ζ_1, linker auf z und z_1.
56 *m*. 715.
10 *h*. 0 *m*. 721.
Jetzt wird N_1 in Dampfbad von 54° C. auf 1 Min. gebracht, und 50″ nach Herausnahme, nämlich
2 *m*. 907.
7 *m*. 845. Kammertemperatur: 16° C.
12 *m*. 822.

ab und $\alpha\beta$=8mm; *al* und $\alpha\lambda$=15mm; *bo* und βo=6mm; *br* und $\beta\varrho$=34mm. — Sonst wie bei den früheren Versuchen.

Versuch 100.

Die Nerven werden den Schenkeln eines vor 97 Stunden †† mittelgrossen Frosches entnommen, welche bisher enthäutet im feuchten Raume aufbewahrt worden sind. Die Consistenz der Nerven ist auffallend vermehrt. Muskeln faulig.

9 *h*. 50 *m*. Rechter Ischiad. auf z und z_1, linker Ischiad. auf ζ und ζ_1.
57 *m*. 719.
10 *h*. 0 *m*. 715. Kammertemperatur: 15° C.
3 *m*. 710.
6 *m*. 708.
9 *m*. 708.
Jetzt wird N in Dampfbad von 45° C. auf 2 Min. gebracht, und 40″ nach Herausnahme, nämlich
12 *m*. 628.
13 *m*. 629.
15 *m*. 637.
18 *m*. 633.
21 *m*. 630.
24 *m*. 626.
Jetzt wird N von z und z_1 abgehoben und von Neuem aufgelegt.
26 *m*. 636.
29 *m*. 629.
32 *m*. 616. (Jetzt bleibt K geschlossen. Φ nimmt ab. 33 *m*. 611; 36 *m*. 603. Nach Oeffnung von K spurweise Ablenkung.)

ab und $\alpha\beta$=8mm; *al* und $\alpha\lambda$=14mm; *bo* und βo=5mm; *br* und $\beta\varrho$=33mm. — Sonst wie bei den früheren Versuchen.

Versuch 101.

Kammertemperatur: 19° C.

11 *h*. 12 *m*. Mittelgrosse Rana esc. ††.

20 *m*. Rechter Ischiad. auf z und z_1, linker Ischiad. auf ζ und ζ_1.

25 *m*.	713.	11 *h*.	31 *m*.	731.
27 *m*.	718.		33 *m*.	735.
29 *m*.	724.		35 *m*.	745.

Jetzt wird N auf 1—1¼ Min. auf Eis gelegt, und 30″ nach Fortnahme, nämlich

37 *m*.	760.	11 *h*.	43 *m*.	755.
39 *m*.	751.		45 *m*.	768.
41 *m*.	751.		47 *m*.	772.

Jetzt mit N wieder so, wie 11 *h*. 35 *m*., verfahren.

49 *m*.	783.	11 *h*.	55 *m*.	755.
51 *m*.	765.		57 *m*.	756.
53 *m*.	765.		59 *m*.	756,5.

ab und $\alpha\beta = 9^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 12^{mm}$; *bo* und $\beta o = 8^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 38^{mm}$. - Sonst wie bei den früheren Versuchen.

Versuch 102.

Kammertemperatur: 17½° C.

3 *h*. 0 *m*. Mittelgrosse Rana esc. ††.

7 *m*. Rechter Ischiad. auf z und z_1, linker auf ζ und ζ_1.

12 *m*.	763,5.	3 *h*.	18 *m*.	766.
14 *m*.	762.		33 *m*.	787.
16 *m*.	762.		35 *m*.	787.

Jetzt wird N auf 15 Min. auf Eis gelegt, und c. 30″ nach Fortnahme, nämlich

51 *m*.	716.	3 *h*.	57 *m*.	681.
53 *m*.	677.		59 *m*.	693.
55 *m*.	675,5.	4 *h*.	1 *m*.	700.

Jetzt wird N nochmals auf 15 Min. auf Eis gelegt, und c. 45″ nach Fortnahme, nämlich

4 *h*. 17 *m*.	699.	4 *h*.	23 *m*.	682,5.
19 *m*.	688.		25 *m*.	682,5.
21 *m*.	682.		27 *m*.	685.

ab und $\alpha\beta = 9^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 13^{mm}$; *bo* und $\beta o = 6^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 36^{mm}$. — Sonst wie bei den früheren Versuchen.

Versuch 103.

Kammertemperatur: 14½ C.

10 *h.* 42 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ††.

50 *m.* Rechter Ischiad. auf z und z_1, linker Ischiad. auf ζ und ζ_1.

	55 *m.*	733.	11 *h.*	5 *m.*	725.
	57 *m.*	730.		7 *m.*	723.

Jetzt wird N auf 15 Min. auf Eis gelegt, und c. 40″ nach Fortnahme, nämlich

11 *h.*	23 *m.*	847.	11 *h.*	31 *m.*	730.
	25 *m.*	776.		33 *m.*	722.
	27 *m.*	753.		39 *m.*	710.
	29 *m.*	740.		41 *m.*	706.

Jetzt mit N wieder so, wie 11 *h.* 7 *m.*, verfahren.

	57 *m.*	819.	12 *h.*	5 *m.*	731,5.
	59 *m.*	755.		7 *m.*	720.
12 *h.*	1 *m.*	742.		27 *m.*	691,5.
	3 *m.*	735.		29 *m.*	690.

ab und $\alpha\beta = 9^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 12^{mm}$; *bo* und $\beta o = 8^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 37^{mm}$. — Sonst wie bei den früheren Versuchen.

Versuche der dritten Art.

In den Vers. 104—109. ist die Zeit laufend vom Tode des Thieres an. — Die Richtung des prüfenden Stromes (1 Daniell) wechselt von Bestimmung zu Bestimmung; bei der ersten Bestimmung tritt der Strom immer bei z_1 ein. — Kammertemperatur bei Vers. 104—107.: fast 14° C., bei Vers. 108.: 15° C., bei Vers. 109.: 14⅔° C. — A bedeutet: Auflagerung der Nerven auf die Zuleitungsröhren; B bedeutet: Eingiessen des erwärmten Oeles in den Napf. — Das Oel war für Vers. 104. auf 50° C., für Vers. 105. auf 63° C., für Vers. 106. auf 75° C., für Vers. 107. und 109. auf 100° C., endlich für Vers. 108. auf 35° C. erwärmt. — Der Abstand des Napfrandes von b beträgt bei Vers. 104—107.: 8^{mm}; bei Vers. 108.: 3^{mm}, bei Vers. 109.: 12^{mm}. — Bei dem Vers. 109. waren N und N_1 an der Abgangsstelle des stärksten Oberschenkelastes (o) mit nassem Faden unterbunden.

Vers. 104.		
8	*m.*	*A.*
13	*m.*	724.
14	*m.*	723.
15	*m.*	725.
16	*m.*	725.
17	*m.*	726.
18	*m.*	727.
19	*m.*	728.
	B.	
19½	*m.*	729.
20	*m.*	729.
20½	*m.*	729,5.
21	*m.*	729,5.
22	*m.*	732,5.
23	*m.*	735.
24	*m.*	742.
25	*m.*	744.
26	*m.*	746,5.
27	*m.*	749.
28	*m.*	751.
29	*m.*	753.
30	*m.*	753,5.
31	*m.*	755.
32	*m.*	755,5.
33	*m.*	757.
34	*m.*	757.
35	*m.*	758.
36	*m.*	758.
37	*m.*	759.
38	*m.*	759.
39	*m.*	759,5.

Vers. 105.		
7	*m.*	*A.*
13	*m.*	781.
14	*m.*	781.
15	*m.*	781,5.
16	*m.*	782.
17	*m.*	782,5.
18	*m.*	784.
19	*m.*	785.
20	*m.*	786.
21	*m.*	786,5.
	B.	
21½	*m.*	786,5.
22	*m.*	781.
22½	*m.*	784,5.
23	*m.*	783.
23½	*m.*	788.
24	*m.*	788,5.
25	*m.*	793.
26	*m.*	796,5.
27	*m.*	803.
28	*m.*	808.
29	*m.*	812,5.
30	*m.*	812,5.
31	*m.*	816.
32	*m.*	816.
33	*m.*	816,5.
34	*m.*	817.
35	*m.*	817.
36	*m.*	817.
37	*m.*	817.
38	*m.*	817.
39	*m.*	817,5.
40	*m.*	817.
46	*m.*	814,5.
47	*m.*	814.

Vers. 106.		
8	*m.*	*A.*
16	*m.*	817.
17	*m.*	816.
18	*m.*	820.
19	*m.*	817.
20	*m.*	818.
21	*m.*	817.
	B.	
21½	*m.*	817.
22	*m.*	817.
22½	*m.*	811.
23	*m.*	814.
24	*m.*	814.
25	*m.*	817.
26	*m.*	819.
27	*m.*	822.
28	*m.*	826.
29	*m.*	829.
30	*m.*	833.
32	*m.*	839.
34	*m.*	845.
36	*m.*	849.
38	*m.*	854.
40	*m.*	858.
42	*m.*	861.
44	*m.*	864.
46	*m.*	866.
48	*m.*	866.
50	*m.*	868.
52	*m.*	868.
54	*m.*	870.
56	*m.*	870,5.
58	*m.*	872.

Vers. 107.		
8	*m.*	*A.*
14	*m.*	747.
15	*m.*	748.
16	*m.*	749,5.
17	*m.*	749,5.
18	*m.*	749,5.
19	*m.*	749,5.
	B.	
19½	*m.*	743,5.
19¾	*m.*	751.
20	*m.*	757.
20½	*m.*	787.
21	*m.*	815.
22	*m.*	824.
23	*m.*	829.
24	*m.*	834.
25	*m.*	831.
26	*m.*	836.
27	*m.*	832,5.
28	*m.*	832,5.
29	*m.*	831.
30	*m.*	831.
31	*m.*	827.
32	*m.*	827.
34	*m.*	824,5.
36	*m.*	823.
38	*m.*	818,5.
40	*m.*	820.
45	*m.*	817.
46	*m.*	817,5.
55	*m.*	818,5.
56	*m.*	821.
65	*m.*	821.
66	*m.*	823.

Vers. 108.		
8	*m.*	*A.*
14	*m.*	729.
16	*m.*	732.
18	*m.*	736.
20	*m.*	743.
22	*m.*	748,5.
24	*m.*	751.
26	*m.*	758.
28	*m.*	762.
30	*m.*	768,5.
32	*m.*	769,5.
	B.	
34	*m.*	806.
36	*m.*	836.
38	*m.*	838.
40	*m.*	839.
42	*m.*	839.
44	*m.*	839.
46	*m.*	835.
48	*m.*	835.
50	*m.*	834.
52	*m.*	834.
54	*m.*	834.
56	*m.*	834.
58	*m.*	834.
60	*m.*	834.
62	*m.*	834.
64	*m.*	834.
66	*m.*	834.
68	*m.*	834.
70	*m.*	840.
82	*m.*	845.

Vers. 109.		
13	*m.*	*A.*
26	*m.*	781.
27	*m.*	788.
28	*m.*	791.
29	*m.*	794,5.
30	*m.*	797.
31	*m.*	801.
32	*m.*	802,5.
33	*m.*	805.
34	*m.*	807.
35	*m.*	810.
	B.	
35½	*m.*	807.
35¾	*m.*	810.
36	*m.*	807.
36½	*m.*	814.
37	*m.*	817.
37½	*m.*	828.
38	*m.*	832,5.
39	*m.*	845.
40	*m.*	854.
41	*m.*	856.
42	*m.*	865.
43	*m.*	866.
44	*m.*	872.
45	*m.*	873.
46	*m.*	877,5.
47	*m.*	877,5.
48	*m.*	880,5.
50	*m.*	883.
66	*m.*	895.
67	*m.*	896.
69	*m.*	896,5.
71	*m.*	896,5.
73	*m.*	897.
75	*m.*	897.
86	*m.*	899.
87	*m.*	899.

Die Nerven waren überall in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. Ihre Wirbelenden lagen nach rechts, ihre Muskelenden nach links.

Vers. 104: *ab* u. $\alpha\beta=9^{mm}$; *al* u. $\alpha\lambda=12^{mm}$; *bo* u. $\beta o=7^{mm}$; *br* u. $\beta\varrho=35^{mm}$.
Vers. 105: *ab* u. $\alpha\beta=9^{mm}$; *al* u. $\alpha\lambda=12^{mm}$; *bo* u. $\beta o=6^{mm}$; *br* u. $\beta\varrho=36^{mm}$.
Vers. 106: *ab* u. $\alpha\beta=9^{mm}$; *al* u. $\alpha\lambda=15^{mm}$; *bo* u. $\beta o=5^{mm}$; *br* u. $\beta\varrho=35^{mm}$.
Vers. 107: *ab* u. $\alpha\beta=9^{mm}$; *al* u. $\alpha\lambda=12^{mm}$; *bo* u. $\beta o=5^{mm}$; *br* u. $\beta\varrho=35^{mm}$.
Vers. 108: *ab* u. $\alpha\beta=8^{mm}$; *al* u. $\alpha\lambda=14^{mm}$; *bo* u. $\beta o=5^{mm}$; *br* u. $\beta\varrho=32^{mm}$.
Vers. 109: *ab* u. $\alpha\beta=9^{mm}$; *al* u. $\alpha\lambda=12^{mm}$; *bo* u. $\beta o=8^{mm}$; *br* u. $\beta\varrho=38^{mm}$.

Versuch 110.

Anordnung und Bestimmungsweise wie bei Vers. 104—109.

Kammertemperatur: 15° C.

10 *h*. 12 *m*. Rechter Ischiad. auf z und z_1, linker Ischiad. auf ζ und ζ_1.

	25 *m*.	770.	10 *h*.	28 *m*.	770.
	26 *m*.	770.		29 *m*.	771.
	27 *m*.	770.		30 *m*.	771.

Jetzt wird das Wirbelende von N so auf Eis gelegt, dass c. 14^{mm} Abstand zwischen b und Eis.

10 *h*.	30½ *m*.	781.	10 *h*.	36 *m*.	786.
	31 *m*.	781.		38 *m*.	786.
	31½ *m*.	781.		40 *m*.	786.
	32½ *m*.	783.		42 *m*.	785.
	33 *m*.	783.		44 *m*.	784,5.
	34 *m*.	784.		46 *m*.	784,5.
	35 *m*.	784,5.		48 *m*.	784,5.

Jetzt wird das Wirbelende von N so auf das Eis gelegt, dass nur 4—5^{mm} Abstand zwischen b und Eis.

10 *h*.	48½ *m*.	808.	10 *h*.	53 *m*.	806,5.
	49 *m*.	808.		55 *m*.	806.
	50 *m*.	808.		57 *m*.	805.
	51 *m*.	808.			

Jetzt wird das Wirbelende von N so auf das Eis gelegt, dass nur 2—3^{mm} Abstand zwischen b und Eis.

	57½ *m*.	815.	11 *h*.	5 *m*.	817.
	58 *m*.	816.		7 *m*.	814.
	59 *m*.	822,5.		9 *m*.	811.
11 *h*.	1 *m*.	816,5.		11 *m*.	809,5.
	3 *m*.	818.			

ab und $\alpha\beta = 9^{mm}$; al und $\alpha\lambda = 12^{mm}$; bo und $\beta o = 5^{mm}$; br und $\beta\varrho = 35^{mm}$. — Sonst wie in den früheren Versuchen.

(2.) Von dem Einflusse der Widerstandsabnahme des Nerven unmittelbar in Folge der Temperaturerhöhung auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke.

Kommen wir nunmehr auf das zurück, was wir zuerst in diesem § vorhatten, so ist nach den in (1) gewonnenen Erfahrungen eine engere Begrenzung desselben unumgänglich. Wir hatten den Einfluss der Temperatur des Nerven auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes erforschen wollen und

haben gefunden, dass mit der Temperaturerhöhung zweierlei Veränderungen im Nerven statthaben, die sich durch den Widerstand des Nerven einmal als die durch die Temperaturzunahme beschleunigten Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit und sodann als die Widerstandsabnahme des Nerven unmittelbar in Folge der Temperaturerhöhung kundgeben; die letztere Widerstandsveränderung hat der Nerv mit allen Körpern gemein, und sie beruht des Genaueren darauf, dass, obwohl nur die Nervenflüssigkeit an Widerstand abnimmt, das metallisch leitende Nervengerüst hingegen an Widerstand gewinnt, w_n doch kleiner wird, weil w_f nahezu verschwindet gegen w_g (s. o. S. 109.). Da nun der Einfluss der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit schon im vorigen § uns bekannt geworden ist, muss unsere Aufgabe hier dahin gehen, den Einfluss zu ermitteln, welchen die Widerstandsabnahme des Nerven unmittelbar in Folge der Temperaturerhöhung für sich allein auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke ausübt.

Die Aufgabe zu lösen, sehen wir uns alsdann sofort auf beschränkte Temperaturen angewiesen und dürfen nicht, wie es zuerst S. 236. möglich schien, die Temperatur der einen feuchten Kammer nach Belieben constant höher oder niedriger halten als die der anderen Kammer. Vielmehr müssen wir bei einer Zimmertemperatur von höchstens 14°C. die eine der beiden Kammern auf einer niedereren Temperatur halten, weil nur dann die Widerstandsveränderungen der beiden Nerven mit der Zeit nicht merklich verschieden verlaufen und in unsere Versuchsergebnisse störend eingreifen werden. Wir können uns aber die zweite Kammer ganz ersparen, indem wir ein einfacheres Verfahren einschlagen, das durch die voraufgegangene Untersuchung uns an die Hand gegeben ist.

Bei einer Zimmertemperatur von 12—14° C. bringen wir, nachdem wir die Oppositions-Vorversuche (S. 163.) ausgeführt haben, ganz so, wie zu diesen Versuchen, die beiden Nerven eines eben getödteten gesunden und munteren Thieres auf die beiden Paare von Zuleitungsröhren und legen entweder sogleich oder erst, nachdem wir durch zwei Bestimmungen von Φ die Veränderungen, welche Φ mit der Zeit erfährt, constatirt haben, das Wirbelende des Nerven N, wie bei den Versuchen der dritten Art oben S. 252., auf Eis; den Abstand zwischen b und dem Eise lassen wir hier nicht mehr als 3—4^{mm} betragen. Etwa 5 Minuten später, wenn nach unseren früheren Erfahrungen die rasche Zunahme von Φ in Folge der Erkaltung von ab vorüber ist und Φ in der Folgezeit ohne die Durchströmung entweder kaum sich verändern oder jedenfalls nur sehr langsam abnehmen würde, lassen wir die Durchströmung der beiden Nerven beginnen. Φ ist alsdann unmittelbar nach der Schliessung der Kette immer etwas grösser als 1 und nimmt manchmal sogleich zu, andere Male bleibt Φ während

einiger Secunden bis zu etwa einer Minute constant oder nimmt während dieser Zeit gar spurweise ab: in den folgenden 5 Min., während welcher wir die Kette noch geschlossen halten, nimmt *Φ* aber ausnahmslos zu. Vernachlässigen wir für eine Weile die hin und wieder, wie es scheint, abweichenden Erscheinungen der ersten Minute nach der Schliessung der Kette, so ergeben also die Versuche, dass die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes mit der Widerstandsabnahme des Nerven unmittelbar in Folge der Temperaturerhöhung an Steilheit in ihrem Verlaufe verliert.

Versuch 111.

(Versuchsanordnung Fig. 13.)

Kammertemperatur: 13¼° C. — *K*: 1 Daniell.

9 *h*. 52 *m*. Mittelgrosse Ran. esc. ††.

10 *h*. 0 *m*. Ischiadici aufgelegt, so dass *a* und *α* und wiederum *b* und *β* die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind.

4 *m*. 727. } Momentane Widerstandsbestimmungen. Der
8 *m*. 719. } Strom tritt 4 *m*. bei *a* u. *α*, 8 *m*. bei *b* u. *β* ein.

Sofort wird *N* mit seinem Wirbelende so auf Eis gelegt, dass c. 2^{mm} Abstand zwischen *b* und Eis.

10 *h*. 14 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *b* und *β*.

7″. 761. *Φ* bleibt einige Secunden unverändert und nimmt dann zu.

16 *m*. 771. Empfindlichkeit: auf 1^{sc} Ablenkung c. 5^{mm} Verschiebung von *S*.

18 *m*. 782,5.

20 *m*. 785. — Sofort *K* geöffnet. — Fast 1^{sc} Polarisationsablenkung.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. Die Wirbelenden lagen nach rechts, die Muskelenden nach links. *ab* und $\alpha\beta = 8^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 14^{mm}$; *bo* und $\beta o = 7^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 37^{mm}$.

(3.) Von dem Einflusse der Widerstandsabnahme des Nerven unmittelbar in Folge der Temperaturerhöhung im Besonderen und des specifischen Widerstandes der Nervenflüssigkeit im Allgemeinen auf die stellenweise Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit.

In *ab* muss eine grössere Menge von Ionen abgeschieden werden als in *αβ*, weil dort nicht nur der specifische Widerstand der Nervenflüssigkeit grösser, sondern auch der specifische Widerstand der Gerüsttheilchen

kleiner ist als hier [vgl. Abschn. I. Kap. I. § 1 (5)]; die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Elektrolyse muss also bei *ab* grösser sein als bei *αβ*. Wegen des grösseren specifischen Widerstandes der Nervenflüssigkeit muss aber auch die Wärmeentwickelung in *ab* die in *αβ* übertreffen, und der Temperaturunterschied zwischen *ab* und *αβ* muss, wenn beide Nervenstrecken unter dem Einflusse des Stromes eine constante Temperatur angenommen haben, kleiner sein, als er bei dem Beginne der Durchströmung war; die Widerstandsabnahme in Folge der Erwärmung muss daher wiederum bei *ab* grösser sein als bei *αβ*. Aus unserem in (2) gewonnenen Ergebnisse ist danach zu schliessen, dass die Widerstandszunahme in Folge der stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit bei *ab* grösser ist als bei *αβ*. Und die anfängliche Constanz oder Abnahme von Φ, welche bei den Versuchen von (2) in der ersten Minute nach der Schliessung der Kette aufgetreten ist, erklärt sich nunmehr einfach dadurch, dass die grössere Widerstandszunahme von *ab* in Folge der Verarmung unmittelbar nach der Schliessung der Kette die grössere Widerstandsabnahme von *ab* in Folge der Erwärmung und in Folge der Elektrolyse manchmal nur eben oder selbst kaum zu compensiren vermocht hat, während sie auch in diesen Fällen später hat hervortreten können, als der Unterschied zwischen *ab* und *αβ* hinsichts ihrer Widerstandsabnahme in Folge der Erwärmung rasch sich verringert hatte.

Mit der Widerstandsabnahme des Nerven unmittelbar in Folge der Temperaturerhöhung wird also die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit und daher auch diese Verarmung selbst kleiner. Dieses Ergebniss liess sich, wie wir oben S. 237. angedeutet haben, vermuthen, und indem die Vermuthung sich erfüllt hat, dürfen wir nicht anstehen, eine Zusammenfassung, deren mehrere der uns vorliegenden Ergebnisse fähig sind und welche wir bei jener Vermuthung im Sinne hatten, vorzunehmen. Im § 4. haben wir, wenn der specifische Widerstand der Nervenflüssigkeit mit der Lebensfähigkeit des Nerven wuchs, auch die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit wachsen sehen; im § 5. haben wir gefunden, dass, wenn der specifische Widerstand der Nervenflüssigkeit mit der Zeit nach dem Tode des Thieres oder nach der Trennung des Nerven vom lebenden Gesammtorganismus wiederholt zunahm und abnahm, mit jeder dieser Zunahmen und Abnahmen auch die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung grösser resp. kleiner wurde; endlich hat sich jetzt ergeben, dass, wenn der specifische Widerstand der Nervenflüssigkeit unmittelbar in Folge der Temperaturerhöhung abnimmt, auch die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung abnimmt. In allen diesen Fällen sind es, wie wir theils mit Be-

stimmtheit theils mit der grössten Wahrscheinlichkeit behaupten können, verschiedene Veränderungen der Nervenflüssigkeit, welche der gleichen Veränderung ihres specifischen Widerstandes zu Grunde liegen, und jedes Mal sehen wir der gleichen Veränderung des specifischen Widerstandes die gleiche Veränderung der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung entsprechen. Danach darf die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung als nur mittelbar durch den specifischen Widerstand der Nervenflüssigkeit von der Beschaffenheit der Nervenflüssigkeit abhängig angenommen werden; und es ist aus allen vorhin aufgeführten Erfahrungen als allgemeines Gesetz zu entnehmen, dass die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke in Folge ihrer stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit und daher auch diese Verarmung selbst mit dem specifischen Widerstande der Nervenflüssigkeit zunehmen.

Diesem Gesetze fügen sich auch die Ergebnisse unserer Versuche der ersten Art in (1), wie wir zur Vervollständigung des über die Versuche Angemerkten noch hinzufügen wollen. Vornehmlich bei der längeren Einwirkung der weniger hohen Temperaturen tritt das Gesetz deutlich hervor; bei den hohen Temperaturen und besonders bei kurzer Einwirkung derselben führen die raschen Veränderungen, welche Φ in den nächsten Minuten nach der Erwärmung von N ohne die Durchströmung erfährt, Verwickelungen ein, die zu beträchtlich sind und zu wenig bestimmt sich übersehen lassen, als dass sichere Resultate gewonnen werden könnten.

(4.) Von dem Einflusse der Temperatur auf die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit und auf die inneren Vorgänge im Nerven, welche diese Widerstandsveränderungen bedingen.

Nachdem wir so die uns zunächst liegenden Aufgaben gelöst haben, dürfen wir es nicht unterlassen, die ausgedehnte Untersuchung, zu welcher wir uns in (1) genöthigt sahen, auch nach anderen Richtungen hin noch auszunutzen.

Wir hatten oben im § 5 (3) in den bei Temperaturen von 16 — 27° C. angestellten Versuchen unter sonst gleichen Umständen das (zweite) Maximum des Widerstandes desto früher eintreten, die Widerstandsveränderungen mit der Zeit desto mehr beschleunigt verlaufen sehen, je höher die Temperatur war. Diese Beschleunigung der Widerstandsveränderungen mit der Zeit hat sich jetzt als zweifellose und in grösserer Ausdehnung gültige Wirkung der Wärme herausgestellt. Für die Temperaturen zwischen 37 und 47° C. ist sie noch unmittelbar durch den Versuch dargethan, und für die Temperaturen zwischen 27 und 37° C. muss sie nach den in Fig. 17. dargelegten Erfahrungen als ausser Frage gestellt gelten; aber auch über 47° C. hinaus besteht sie fort, wie wiederum Fig. 17. es höchstwahrschein-

lich macht und später anzugebende Erfahrungen es erweisen. Bei den Temperaturen unter 14° C. ist die in Rede stehende Wirkung der Wärme nur gering, und es bleibt zweifelhaft, wo sie ihren Anfang nimmt: von 14° C. an aber ist es als allgemeines Gesetz auszusprechen, dass mit dem Wachsen der Temperatur die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit und demgemäss auch die diese Veränderungen bedingenden inneren Vorgänge im Nerven [s. o. § 5 (3)] in ihrem Ablaufe eine Beschleunigung erfahren.

Und einzig und allein in dieser Weise wirkt die Wärme, wenn die Dauer ihrer Einwirkung sehr beschränkt ist. Bei unseren der Fig. 17. zu Grunde liegenden Studien ist die kürzeste Dauer der Einwirkung der Wärme 1 Minute gewesen, nicht blos weil für kleinere Zeiträume der bei der Bestimmung der Dauer der Erwärmung möglicherweise zu begehende Fehler zu gross geworden wäre, sondern vornehmlich auch deshalb, weil die oberhalb 54° C. eintretende Verkürzung des Nerven eine über das (zweite) Maximum hinausgehende Verfolgung der Widerstandsveränderungen, wie sie uns wünschenswerth sein musste, unmöglich macht. Es lässt sich aber aus der Fig. 17. mit ausreichender Sicherheit die Curve der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke, bezogen auf die Temperaturen, für eine ganz kurze Dauer der Einwirkung der Wärme entnehmen, und die Richtigkeit dieser Curve wird durch die Bestimmung der Widerstandsveränderungen bei einer nur Secunden andauernden Einwirkung der Wärme, soweit nicht die Verkürzung des Nerven die Bestimmung verhindert, und ausserdem noch durch die Erfahrungen über die Consistenz des Nerven, die später Erwähnung finden sollen, verbürgt. Eben diese Curve stimmt alsdann mit der ausgezogenen Curve der Fig. 16., so genau man es bei diesen Dingen nur erwarten kann, überein. Und wenn man dazu die Curven der Fig. 17. mit der Zunahme der Dauer der Erwärmung in ihrer Gestalt immer mehr von der Curve der Fig. 16. abweichen und die ausgezogene Curve der Fig. 17. der Curve der Fig. 16. noch sehr ähnlich sieht; wenn man ferner erwägt, wie — von den Mängeln unserer Untersuchung selbst ganz abgesehen — auf der einen Seite die Curve der Fig. 16. wegen der ungleichmässigen und ungleichzeitigen Veränderungen der einzelnen Querschnitte der Nervenstrecke mit der Zeit und auf der anderen Seite die aus der Fig. 17. vorhin entnommene Curve wegen der ungleichmässigen Einwirkung der Wärme auf die mehr peripherischen und die mehr centralen Theile der Nervenstrecke nur ein ungenaues Bild von den Veränderungen des kleinsten Nerventheilchens mit der Zeit resp. mit der Temperatur uns geben: — dann kann die vollkommene Uebereinstimmung jener beiden Curven, wie sie nach Berichtigung aller Fehler für das kleinste Nerventheilchen sich ergeben würden, sicherlich nicht zweifelhaft sein.

Es wirkt also die Wärme bei ganz kurzer Dauer ihrer Einwirkung auf den frischen Nerven rein beschleunigend auf die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit, oder, was dasselbe sagen will, es kann jedes Zeitquantum, welches erforderlich ist, damit an dem Nerven nach seiner Trennung vom lebenden Gesammtorganismus gewisse Widerstandsveränderungen statthaben, durch ein gewisses dem Nerven rasch zugeführtes Wärmequantum ersetzt werden, und zwar muss das Wärmequantum desto grösser sein, je grösser jenes Zeitquantum ist.

Bei längerer Dauer der Einwirkung der Wärme aber fügt sich, wie die der Fig. 17. zu Grunde liegenden Erfahrungen zeigen, eine zweite Wirkung der Wärme noch hinzu. Sie besteht darin, dass von den beiden Vorgängen, welche bis zum (zweiten) Maximum des Widerstandes mit der Zeit im Nerven statthaben, mit dem Wachsen der Temperatur und der Dauer derselben der den Widerstand vermindernde Vorgang in seiner Ausbildung immer mehr begünstigt und dafür der den Widerstand vermehrende Vorgang in seiner Ausbildung immer mehr gehemmt ist. Mit dieser Auffassung der zweiten Wirkung der Wärme lassen sich alle unsere Erfahrungen sofort auf das Einfachste und Ungezwungenste erklären; und wie aus beiden Wirkungen der Wärme zugleich die Gestalt der Curve der Fig. 17., besonders das Verhalten ihrer zweiten Maxima, und die Gestalt der aus der Fig. 17. leicht zu entnehmenden Curven der Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke, bezogen auf die Zeit, für die verschiedenen Temperaturen resultiren, liegt dann so sehr auf der Hand, dass wir uns gar nicht weiter dabei aufhalten dürfen. Eine besondere Reihe von Thatsachen kommt aber noch hinzu, gewichtig für die Richtigkeit unserer Auffassung zu sprechen.

In dem Zäherwerden der Nervenflüssigkeit und der dadurch bedingten Consistenzzunahme des Nerven haben wir im § 5 (3) den den Widerstand vermehrenden Vorgang erkannt. Wir haben dort an dem isolirten Nerven die Consistenzzunahme schon lange vor dem Eintritte des (zweiten) Maximums des Widerstandes deutlich und um die Zeit dieses Maximums recht auffällig gefunden; und wir sind dabei auf keinen Unterschied gestossen, wenn die Temperatur bei den Versuchen zwischen 16 und 27° C. lag. Bringen wir nunmehr aber dem eben getödteten Thiere entnommene Nerven in unser Wasserdampfbad, wenn dessen constante Temperatur 34—42° C. beträgt, so ist zu keiner Zeit — weder früh noch spät, wenn auch der Nerv weit über seinen Tod hinaus im Dampfbade verblieben ist — eine Consistenzzunahme des Nerven wahrzunehmen: vielmehr scheint im Gegentheil die Consistenz des Nerven öfters verringert zu sein, wenn die Erwärmung auf nur wenige Minuten sich erstreckt hat. Erst bei einer Temperatur des Dampfbades von 44—48° C. ist eine Consistenzzunahme

des Nerven wieder eben deutlich zu erkennen, wenn der Aufenthalt des Nerven im Dampfbade c. 1 Minute gedauert hat; und mit dem Wachsen der Temperatur des Dampfbades wird die Consistenzzunahme immer deutlicher, wenn zugleich die Dauer des Dampfbades verringert wird[1]. Auffällig wird die Consistenzzunahme des Nerven aber erst bei einem c. $\frac{1}{4}$—$\frac{1}{2}$ Min. andauernden Aufenthalte des Nerven im Dampfbade von 58—62°C., wo die eintretende Verkürzung des Nerven allerdings in der Regel die Beobachtungen unsicher macht, weil mit der Verkürzung des Nerven an und für sich, wie die Versuche an abgestorbenen Nerven ergeben, ein Steiferwerden des Nerven verbunden ist. Um hier Sicherheit zu gewinnen, muss man daher einen todten Nerven, dessen Consistenz schon wieder deutlich abgenommen hat, und einen frischen Nerven von ohngefähr gleicher Dicke zugleich in das Dampfbad bringen: man findet dann an den beiden verkürzten Nerven die Consistenzzunahme des frischen Nerven auffällig grösser als die des anderen Nerven. Oder man muss so lange proben, bis der nicht sehr seltene Fall eintritt, dass die peripherische Hälfte des Nerven gar nicht oder nur sehr wenig verkürzt aus dem Dampfbade kommt[2]: die Consistenzzunahme des peripherischen Nervenstückes ist dann ebenso auffällig wie um die Zeit des (zweiten) Maximums des Widerstandes bei den Versuchen des § 5 (2). Lässt man bei den Temperaturen von 44—58° C. den Nerven über die angemerkte Zeit hinaus im Dampfbade, so kommt wiederum keine Consistenzzunahme zur Beobachtung, sondern die Consistenz des Nerven ist unverändert oder erscheint meist sogar geringer als ursprünglich. Auch wo eine Verkürzung des Nerven eingetreten ist, muss bei längerem Aufenthalte des Nerven im Dampfbade die Consistenz desselben wieder abnehmen, da man sie alsdann, wenn auch grösser als ursprünglich, doch nicht so gross, wie sonst nach ganz kurzem Aufenthalte des Nerven in dem gleichen Dampfbade, findet.

Durch diese Erfahrungen ist die Richtigkeit dessen, was wir oben als die zweite Wirkung der Wärme hingestellt haben, verbürgt. Vorher hätte man noch glauben können, dass der den Widerstand vermindernde Vorgang, indem er mit der Temperatur und deren Dauer immer mehr wächst, den stets dieselbe Grösse gewinnenden den Widerstand vermehrenden Vorgang nur immer mehr uns verdeckt. Davon kann aber, nachdem wir das

1) Bestimmtere Angaben lassen sich füglich nicht machen, und man ist auf das häufige Proben angewiesen. Es verdient aber Beachtung, dass jeder Nerv nur für einen einzelnen Versuch verwendbar ist, da das Verhalten des Nerven bei wiederholter Erwärmung hier ausser unserer Betrachtung liegt.

2) Die Ursache hat sich nicht ergründen lassen: sie muss in einem besonderen Verhalten des Neurilemms gelegen sein, da dieses wesentlich die Verkürzung bedingt. Wegen des stärkeren Neurilemms an der centralen Hälfte des Nerven ist diese Hälfte übrigens stets mehr verkürzt als die peripherische Hälfte.

Verhalten der Consistenz des Nerven kennen gelernt haben, keine Rede mehr sein; es ist vielmehr jetzt zweifellos, dass die mit der Temperatur und deren Dauer wachsende Ausbildung des den Widerstand vermindernden Vorganges, so zu sagen, auf Kosten der Ausbildung des den Widerstand vermehrenden Vorganges erfolgt.

Schon die Lebensfähigkeit und die Isolirung des Nerven haben wir die beiden Vorgänge mit der Zeit im Nerven verschieden beeinflussen sehen [s. o. § 5 (3)]. Allein auf eine solche Beziehung der Ausbildung der beiden Vorgänge zu einander, wie wir sie eben aufgefunden haben, sind wir früher nicht geführt worden, und höchstens die Vermuthung ist aufgetaucht, dass die grössere Ausbildung des den Widerstand vermindernden Vorganges den Ablauf des den Widerstand vermehrenden Vorganges verzögert. Es wird nunmehr im Auge zu behalten sein, dass die neu aufgefundene Beziehung vielleicht eine ganz allgemeine ist und vielleicht nur deshalb früher uns entgangen ist, weil nicht nur die Ausbildung des den Widerstand vermindernden Vorganges bei dem im Schenkel verbliebenen und dem isolirten Nerven und wiederum bei dem sehr lebensfähigen und dem wenig lebensfähigen Nerven eine viel weniger verschiedene ist als bei den verschieden hohen Temperaturen ausgesetzten Nerven, sondern auch die (zweiten) Widerstandsmaxima bei den ersteren Nerven kaum und jedenfalls nur viel schlechter sich vergleichen lassen als bei den letzteren Nerven. Doch lässt sich auch an die Möglichkeit denken, dass der durch die Wärme begünstigte den Widerstand vermindernde Vorgang, welcher auf Kosten des den Widerstand vermehrenden Vorganges sich ausbildet, mit dem den Widerstand vermindernden Vorgange, auf welchen wir zuerst gestossen sind, überhaupt gar nicht identisch ist, sondern durch die Wirkung der Wärme zu den beiden zuerst uns bekannt gewordenen Vorgängen mit der Zeit im Nerven als neuer Vorgang noch hinzukommt; und man könnte sogar in dem dritten Vorgange vielleicht die Consistenzabnahme der Nervenflüssigkeit vermuthen wollen, welche bei niederen Temperaturen den Widerstand des Nerven von seinem (zweiten) Maximum aus wieder abnehmen lässt, so dass dieser Vorgang mit wachsender Temperatur immer eher in dem isolirten Nerven Platz greifen würde. Diese Möglichkeit zurückzuweisen sind wir nicht im Stande, und nur der grösseren Einfachheit wegen ist die zweite Wirkung der Wärme oben zunächst im Sinne der Möglichkeit hingestellt worden, welche zur Erklärung unserer Erfahrungen keinen neuen Vorgang zu Hülfe nimmt: im Sinne der letzteren Möglichkeit würde die zweite Wirkung der Wärme dahin auszusprechen sein, dass zu den beiden den Widerstand verändernden Vorgängen, welche bei den niederen Temperaturen, bis der Widerstand sein (zweites) Maximum erreicht, mit der Zeit im Nerven statthaben, mit der Zunahme der Tempera-

tur und deren Dauer immer mehr ein neuer den Widerstand vermindernder Vorgang hinzutritt, dessen Ausbildung die Ausbildung des den Widerstand vermehrenden Vorganges entsprechend unterdrückt.

Durch physiologische Erfahrungen am Nerven, auf welche wir an einem anderen Orte zu sprechen kommen, ist *Harless* darauf geführt worden, dass bei gewissen Temperaturen plötzliche Veränderungen in der Nervensubstanz vor sich gehen. Die erste Veränderung musste an der Temperaturgrenze von 28—29° R. statthaben; und *Harless* hat gefunden, dass der Schmelzpunkt des aus Froschnerven dargestellten Fettes zwischen 29—30° R. liegt, ferner die Transparenz des Nerven plötzlich bei 28—30° R. wächst, indem wesentlich die Primitivfasern eine Aufhellung erfahren, weiter das Neurilemm bei 29—30° R. plötzlich nachgiebiger wird und an Cohärenz einbüsst, endlich der Nervenstrom in nachher anzugebender Weise sich verändert. »Die Summe dieser Thatsachen lässt erkennen, dass in allen Theilen des Nerv bei einer Temperatur von 27—30° R. eine wesentliche Veränderung vor sich geht.« »Bei 47° R. (im Mittel) liegt ein zweiter Wendepunkt im Einfluss der feuchten Wärme auf die Nerven.« Die grosse Weichheit und Brüchigkeit des ganzen Nerven fällt dann sofort auf. Es erfolgt »ein plötzlicher Wechsel im Aggregatzustand der Substanz, welcher die optischen Eigenschaften aller Gewebtheile und die Cohärenz des Neurilems wesentlich verändert, zugleich eine Verdickung von Faser und Scheide wie bei der Quellung erzeugt. Abnahme der Transparenz, plötzliche Verminderung des Festigkeitsmodulus der Scheide, Vergrösserung des Querschnittes sind der äussere Abdruck dieser inneren Veränderungen.« Endlich bei 65° R. ist der Nerv um die Hälfte seiner ursprünglichen Länge verkürzt, aber nicht dem entsprechend verdickt, und wesentlich das Neurilemm ist verdichtet. Der Nerv ist »sehr brüchig, seine Elasticität ist aber grösser geworden, als sie bei 48° R. war; er ist weniger weich, steif und beim Zerdrücken auch nicht mehr so teigig.« »Zwischen 62 und 64° R. liegt die Grenze, an welcher durch das plötzliche Schrumpfen der Hüllen durch die Verdichtung der Masse eine Reizung auf das Mark ausgeübt wird, welche Zuckungen erzeugt, wobei das Mark selbst sich wesentlich verändert, bröcklig und zerfallen zeigt, während der Gesammtnerv, wenn auch sehr leicht zerreissbar, weniger weich, dagegen mehr spröde erscheint.«[1]

Die *Harless*'sche Untersuchung würde gewiss schönere Erfolge erzielt haben, wenn sie von besseren Gesichtspunkten, als sie die verwickelten physiologischen Phänomene lieferten, geleitet gewesen wäre: immerhin aber sind ihre Ergebnisse auch so für uns werthvoll. Nur müssen vor Allem

1) *Harless* a. a. O. S. 126—182*.

sämmtliche Angaben von *Harless* — mit Ausnahme etwa der auf die höchsten Temperaturen bezüglichen, auf deren Einfluss unsere genaueren Untersuchungen sich nicht erstreckt haben — über das Plötzliche der am Nerven eintretenden Veränderungen nach unseren Erfahrungen fortfallen. Auch erfordern *Harless*' eigene Erfahrungen solche plötzliche Veränderungen keineswegs; denn wo wir mit verhältnissmässig groben Methoden an die Prüfung der Eigenschaften des Nerven herantreten, wie es für die Consistenz und die Transparenz des Nerven der Fall ist, muss auch dann, wenn die Veränderungen am Nerven allmählich erfolgen, der Anschein des Plötzlichen dadurch für uns herbeigeführt sein, dass wir erst grössere Verschiedenheiten überhaupt zu constatiren im Stande sind. Wenn wir alsdann dieselbe Temperatur von *Harless* immer ein wenig höher normirt annehmen als von uns, wie es ja wegen der Verschiedenheit der bei beiden Untersuchungen angewandten ungenauen Thermometer leicht möglich ist, sehen wir die *Harless*'schen »Wendepunkte« auf die Temperaturen (c. 34 u. 54° C.) fallen, bei welchen die Curven der Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit nach unseren in Fig. 17. dargestellten Erfahrungen am auffallendsten von einander und von der entsprechenden Curve bei der gewöhnlichen Zimmertemperatur abweichen. Die verringerte Consistenz des Nerven nach längerer Einwirkung der Temperatur von c. 54° C. ist, wie wir weiter finden, schon *Harless* aufgefallen; die anfängliche Zunahme der Consistenz des Nerven bei derselben Temperatur hat aber freilich *Harless* entgehen müssen, weil er immer mindestens mehrere Minuten den Nerven der hohen Temperatur ausgesetzt hatte. Endlich liefert der Fund von *Harless*, dass die Transparenz des Nerven, wenn einige Minuten die Temperatur von 28° R. auf ihn eingewirkt hat, kleiner und, wenn dasselbe mit der Temperatur von 47° R. der Fall gewesen ist, grösser als beim frischen Nerven (die Primitivfaser im ersten Falle aufgehellt, im zweiten Falle getrübt) ist, eine beachtenswerthe Bestätigung dessen, was sich uns ergeben hat, dass, wenn auch bei beiden Temperaturen der Widerstand des Nerven sich verringert zeigt, beide Male doch ganz verschiedene Veränderungen des Nerven erfolgt sind. Die Erfahrung von *Harless*, dass das aus Froschnerven dargestellte Fett bei 29—30° R. schmilzt, ist natürlich für unsere inneren Vorgänge im Nerven gar nicht zu verwerthen.

Die Untersuchung über den Einfluss der Wärme abzuschliessen, bleibt uns noch die Frage zu erledigen, ob die engeren Beziehungen, in welchen wir die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit und die sie bedingenden inneren Vorgänge im Nerven zum Absterben des Nerven oben im § 5 (5) bei den niederen Temperaturen gefunden haben, auch bei den höheren Temperaturen fortbestehen.

Die Dauer der Leistungsfähigkeit des Nerven in verschieden temperir-

ten Medien ist bereits mehrfach genauer untersucht worden. Nach *Eckhard* büsst der Nerv in destillirtem Wasser von höherer Temperatur seine Leistungsfähigkeit mit dem Wachsen der Temperatur zunehmend rascher ein: bei 30° R. in 12—15 Minuten, bei 40° R. in 1—2 Min., bei c. 56° R. momentan; nach der anderen Seite hin erfolgt eine rasche Beschleunigung des Verlustes der Leistungsfähigkeit erst dann, wenn die Temperatur des Wassers unter —3° R. sinkt[1]. Aus hierhergehörigen, aber sehr verwickelten Versuchen von *Harless*[2] würde zu entnehmen sein, dass der Nerv in mit Wasserdampf gesättigter Luft bei 40° R. nach etwa einer halben Stunde, bei 44° R. nach wenigen Minuten, bei 65° R. fast momentan seine Leistungsfähigkeit verloren hat. Nach *Afanasieff* endlich ist die Dauer der Leistungsfähigkeit des Nerven in Oel von 15° C. an desto kürzer, je höher die Temperatur ist: bei mehr als 65° C. ist die Leistungsfähigkeit des Nerven fast augenblicklich verschwunden, bei 51° C. dauert sie c. 12 Min., bei 44° C. c. 24 Min., bei 37° C. mehr als eine Stunde an; bei 15—0° C. erhält sich die Leistungsfähigkeit sehr lange, und selbst bei —8° C. ist eine Vernichtung der Leistungsfähigkeit nicht zur Beobachtung gekommen[3].

Von den Autoren, welche die wahrgenommenen Verschiedenheiten als specifische Wirkung der Wärme ausgeben, macht nur *Harless* einen offenbar verunglückten Versuch, sie auch als solche zu erweisen[4]; *Afanasieff* begnügt sich mit der Angabe, dass das reine Mohnöl »für den Nerven ein unschuldiges, seine physiologischen Eigenschaften nicht störendes Mittel« ist. Trotzdem würden wir nach dem, was wir selbst oben S. 248 ff. erfahren haben, die verschiedene Dauer der Leistungsfähigkeit des Nerven bei den aufgeführten Untersuchungen als im Wesentlichen durch die verschiedene Wärme bedingt ansehen dürfen. Wenn dieselben Temperaturen bei *Eckhard* sich feindlicher dem Leben des Nerven herausgestellt haben als

1) *C. Eckhard*, Ueber die Einwirkung der Temperaturen des Wassers auf die motorischen Nerven des Frosches. *Henle's* und *Pfeufer's* Zeitschr. f. rat. Med. Bd. X. (1851.) S. 174 ff.*; Taf. V. Fig. 2*. — In einer Notiz (Ueber den Einfluss höherer Temperaturgrade auf motorische Nerven. Allgemeine Medic. Central-Zeitung. Berlin. 28. Jahrgang. 3. Dezember 1859.*) macht *J. Rosenthal*, der den Nerven in Oel erwärmt hat, dieselben Angaben wie *Eckhard*, nur dass er die Leistungsfähigkeit des Nerven bei 50° C. etwa 16 Secunden, also weniger lange andauern lässt. Dass er trotzdem den *Eckhard'*schen Zahlenangaben eine zu geringe Grösse vorwirft, entspringt lediglich dem Irrthume, den *Rosenthal* — vielleicht durch *Ludwig* (Physiologie. Zweite Aufl. Bd. I. 1858. S. 126*) verleitet — selbst begeht, dass er den Nerven nach *Eckhard* bei 30° R. in 12—15 Secunden statt in ebenso vielen Minuten, wie es *Eckhard's* Fig. 2. zeigt, absterben lässt. Der Titel der Abhandlung *Eckhard's* hätte diesen übrigens auch gegen die Vorwürfe verwahren sollen, welche *Rosenthal* und *Afanasieff* wegen der Verwendung von Wasser zu den Versuchen gegen *Eckhard* erheben.

2) *Harless* a. a. O. S. 152—6*.

3) *N. Afanasieff*, Untersuchungen über den Einfluss der Wärme und der Kälte auf die Reizbarkeit der motorischen Froschnerven. *Reichert's* und *du Bois-Reymond's* Archiv u. s. w. 1865. S. 691 ff. *

4) *Harless* a. a. O. S. 133*.

bei *Afanasieff* und bei diesem wiederum feindlicher als bei *Harless*, so kann der Grund wohl darin gelegen sein, dass, wie *Rosenthal, Harless* und *Afanasieff* wollen, bei *Eckhard* die schädliche Wirkung des Wassers hinzugekommen ist oder, wie wir umfassender sagen können, bei allen Untersuchungen zu der Wirkung der Wärme die schädliche Wirkung des Wassers, Oeles und Wasserdampfes, die in dieser Reihenfolge der Medien abnehmen mag, sich hinzugefügt hat; daneben sind jedoch noch andere Möglichkeiten denkbar, und es ist besonders nicht zu übersehen, dass bei den verschiedenen Untersuchungen verschieden lange Strecken des Nerven der jedesmaligen Versuchstemperatur ausgesetzt waren. Ueberhaupt aber hat es wenig Interesse, jene Erfahrungen für die höheren Temperaturen genau nach Minuten und Secunden abzuwägen, weil die Geschwindigkeit, mit welcher der in ein höher temperirtes Medium gebrachte Nerv die Temperatur des Mediums annimmt, und nicht minder die Wirkung der betreffenden Temperatur auf den Nerven ausser von dem Medium auch noch von vielerlei in den Versuchen nicht weiter beachteten Umständen am Nerven selbst abhängig sein müssen. Was wir für unsere Zwecke zunächst brauchen, lässt sich jedenfalls aus jenen Versuchen insgesammt ohne besondere Correction ihrer Ergebnisse, wenn wir diese mit unseren in Fig. 17. dargestellten Erfahrungen zusammenhalten, entnehmen: dass nämlich das Wachsen der Temperatur ohngefähr ebenso wie den Eintritt des Maximums, welches der Widerstand mit der Zeit erreicht, auch den Verlust der Leistungsfähigkeit beschleunigt.

Aber die Leistungsfähigkeit scheint im Gegensatze zu dem, was wir bei den niederen Temperaturen gefunden haben, bei den hohen Temperaturen das Maximum des Widerstandes etwas zu überdauern. Um hierüber Gewissheit zu erlangen, müssen wir selbst noch besondere, mit unseren Widerstandsversuchen besser vergleichbare Versuche anstellen. Wir bringen dazu den mit dem Unterschenkel in unversehrter Verbindung erhaltenen Nerven ebenso, wie bei unseren Versuchen der ersten und zweiten Art in (1), auf 1 oder 5 Minuten in das Dampfbad; der Nerv ist dabei, um die Muskeln vor der Einwirkung des Wasserdampfes möglichst zu schützen, durch den zum Theil durchstossenen Boden eines Reagirgläschens, das den Unterschenkel beherbergt, hindurchgelassen. Es zeigt sich in der That, dass nach 1 Minute Aufenthalt des Nerven im Dampfbade erst, wenn dessen Temperatur über 52° C. war, und nach 5 Minuten Aufenthalt des Nerven im Dampfbade erst, wenn dessen Temperatur 48—50° C. war, dieselbe Nervenstrecke, an welcher wir früher die Widerstandsveränderungen constatirt haben, selbst durch die stärksten abwechselnd gerichteten Inductionsströme nicht mehr erregbar ist und nach der Erkaltung unerregbar bleibt.

Ueber den Einfluss der Temperatur auf den Nervenstrom liegen gleichfalls bereits Erfahrungen vor. »Siedhitze«, sagt *du Bois-Reymond*, »nur wenige Augenblicke lang auf den Nerven angewendet, schwächt den Strom desselben und kehrt ihn um. Längere Zeit einwirkend vernichtet sie natürlich gänzlich das elektromotorische Vermögen. Wird der Nerv in Wasser von nur 40—50° getaucht, so kehrt sich der Strom nicht um, sondern wird allmälig kleiner[1].« Und *Harless* hat gefunden, dass der Nervenstrom in seiner gesetzmässigen Richtung an Stärke abnahm und umgekehrt wurde, wenn der Nerv in einem mit Wasserdampf gesättigten und erwärmten Raume etwa 5 Min. bei 30° R. oder eine etwas kürzere Zeit bei 33° R. verweilt hatte; wurde sodann der Nerv in einen kühlen Raum von 9—10° R. gebracht, so kehrte häufig die ursprüngliche Richtung des Nervenstromes wieder[2]. Aber diese Angaben reichen für unsere Zwecke nicht aus. Wir verbinden deshalb ein Paar unserer Zuleitungsröhren mit einem *Pohl*'schen Stromwender, dem *du Bois*'schen Schlüssel und der Bussole zu einem Versuchskreise für die Verfolgung des Nervenstromes und erhöhen die Empfindlichkeit unserer Bussole so weit, dass wir von einer etwa 8mm langen und mit Längs- und Querschnitt den Zuleitungsröhren aufliegenden Strecke eines frischen Nerven c. 200sc Ablenkung erhalten. Alsdann bringen wir in ganzer Länge präparirte Nerven eben getödteter munterer Thiere auf 1 oder 5 Minuten in das Dampfbad, durchschneiden darauf den Nerven etwas unterhalb des Abganges der Oberschenkeläste und legen die peripherische Hälfte des Nerven mit Längs- und Querschnitt den Zuleitungsröhren auf. Dieses Verfahren ist besser, als wenn man die Nervenstrecke vor und nach der Erwärmung auf ihren Strom untersucht, weil die missliche Abnahme[3] des Stromes mit der Zeit nach der Herstellung des Querschnittes sich nicht einmischt; bei dem letzteren Verfahren muss man jedenfalls nach der Erwärmung einen neuen Querschnitt in der Nähe des früheren herstellen, und man macht dann übrigens dieselben Erfahrungen. Sobald nämlich der Nerv 1 Min. im Dampfbade von 55° C. und mehr oder 5 Min. im Dampfbade von 51° C. und mehr verweilt hat, ist sein Strom verschwunden und kehrt nie mehr wieder; war die Temperatur des Dampfbades etwas niedriger, so ist der gesetzmässige Nervenstrom noch spurweise vorhanden; und der Nervenstrom zeigt sich weiter desto stärker, je geringer die Temperatur des Dampfbades war. Eine Umkehrung des Nervenstromes ist bei diesen Versuchen nicht vorgekommen; nur vor-

1) *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 287*.

2) *Harless* a. a. O. S. 142—3*.

3) *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 283*. — *Ders.*, Ueber den secundären Widerstand a. a. O. S. 900*.

getäuscht wurde sie manchmal durch die innere Polarisation der Thonspitzen, welche bei rasch aufeinanderfolgenden Versuchen der Strom des vorher untersuchten Nerven hinterlassen hatte.

Nach diesen Erfahrungen kann es keinem Zweifel unterworfen sein, dass der absterbende Nerv, wie bei den niederen, so auch bei den hohen Temperaturen ausser durch den Verlust seiner elektromotorischen Eigenschaften noch durch die Zunahme seines specifischen Widerstandes physikalisch charakterisirt ist; nur ist das Maximum, welches der Widerstand des Nerven erreicht, bei den verschiedenen Temperaturen ein verschiedenes. Es bedarf aber der Erklärung, woher es kommt, dass das gegenseitige Verhalten des Verschwindens der Leistungsfähigkeit, des Verschwindens des Nervenstromes und des Maximums des Widerstandes bei den niederen und bei den hohen Temperaturen der Zeit nach ein so verschiedenes ist, wie wir es kennen gelernt haben. Diese Erklärung ist folgendermassen zu geben.

Je rascher mit dem Wachsen der Temperatur des Nerven seine Veränderungen mit der Zeit erfolgen, desto weniger wird bis zur Zeit des Nerventodes der Muskel an Erregbarkeit eingebüsst haben, und das Verschwinden der Leistungsfähigkeit des Nerven wird daher mit wachsender Temperatur nicht blos absolut, sondern auch relativ dem Tode des Nerven näher rücken; dazu begünstigt diese Annäherung wohl auch noch, dass, je höher die Temperatur ist, desto weniger ungleichmässig und ungleichzeitig das Absterben der einzelnen Querschnitte der Nervenstrecke erfolgen kann. Für das Weitere ist zu bedenken, dass das Maximum des Widerstandes nicht identisch ist mit dem Maximum des den Widerstand vermehrenden Vorganges, von welchem letzteren Maximum es uns zur Ueberzeugung geworden ist, dass es mit dem Tode des kleinsten Nerventheilchens zusammenfällt. An dem in ein höher temperirtes Medium gebrachten Nerven werden die peripherischen Schichten die höhere Temperatur rascher annehmen als die mehr centralen Schichten, und die ersteren Schichten werden daher auch in dem Ablaufe der Widerstandsveränderungen mit der Zeit den letzteren Schichten immer vorauf sein. Dadurch muss es aber zu einer Zeit geschehen, dass, weil der Widerstand der peripherischen Schichten schon in der Abnahme vom Maximum aus begriffen ist, der Gesammtwiderstand der Nervenstrecke gleichfalls schon abnimmt, obwohl der Widerstand der centralen Schichten noch zunimmt. Wird zu dieser Zeit der Nerv aus dem höher temperirten Medium entfernt, so werden die centralen Schichten der Nervenstrecke noch lebend sein, obwohl das Maximum des Widerstandes der Nervenstrecke schon vorüber ist; und nach dem, was wir vorhin hinsichts der Annäherung des Verschwindens der Leistungsfähigkeit an den Tod des Nerven erfahren haben, wird man alsdann bei

den höheren Temperaturen noch Muskelzuckung vom Nerven aus erlangen können, nicht aber bei den weniger hohen Temperaturen. Was zuerst auffallen konnte, dass die Leistungsfähigkeit des Nerven das Maximum seines Widerstandes überdauert, ergiebt sich so als Nothwendigkeit; und vollends muss daher der Nervenstrom, der noch die Leistungsfähigkeit überdauert, bei den höheren Temperaturen immer eine Zeit lang während der Abnahme des Widerstandes der Nervenstrecke bestehen bleiben.

Die Erklärung kann in Einzelheiten noch weiter ausgeführt werden, und sie lässt in den Folgerungen, die leicht aur ihr sich ergeben, eine experimentelle Bewährung zu. Doch ist die möglichste Sicherung der Erklärung zur Zeit für uns nicht von ausreichender Bedeutung, um uns weiter damit aufzuhalten.

§ 7. Von dem Einflusse voraufgegangener Durchströmung des Nerven.

(1.) Von dem Einflusse voraufgegangener Durchströmung auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke.

Wir eilen, den Einfluss eines neuen und am nächsten sich anschliessenden Umstandes zu untersuchen, den Einfluss voraufgegangener Durchströmung des Nerven. Es interessirt uns dabei ausschliesslich der Nerv, der noch nicht lange dem lebenden Gesammtorganismus entnommen ist, und weiter nur der Fall, dass ein Strom mässiger Intensität die ganze intrapolare Nervenstrecke vorher durchflossen hat.

Nachdem wir die Oppositions-Vorversuche (S. 163.) angestellt und die beiden Nerven desselben Thieres, ganz wie bei diesen Versuchen, auf die Zuleitungsröhren gebracht haben, lassen wir zunächst *ab* allein eine Zeit lang durchströmt sein. Dies geschieht entweder dadurch, dass wir nach Unterbrechung des die Nervenstrecke $\alpha\beta$ enthaltenden Zweiges unserer Versuchsanordnung Fig. 13. (und Schliessung des Bussolen-Schlüssels) die Kette *K* schliessen, wobei durch die verschiedene Einstellung des Schiebers *S* auf dem Platinrheostaten *Rh* die Möglichkeit noch gegeben ist, die Stromintensität abzustufen, oder auch dadurch, dass wir z, z_1 und *ab* durch eine einfache Schaltung zeitweilig aus unserem Versuchskreise entfernen und in den Schliessungskreis einer anderen Kette bringen. Früher oder später nach dem Aufhören der Durchströmung von *ab* allein, höchstens aber um so viel später, als eben diese Durchströmung angedauert hat, lassen wir darauf in derselben Weise wie sonst die Durchströmung der beiden Nerven beginnen. Φ ist alsdann unmittelbar nach der Schliessung der Kette mehr oder weniger grösser als 1 und nimmt bei der Durchströmung zu; und zwar ist unter sonst gleichen Umständen Φ unmittelbar

nach der Schliessung der Kette desto grösser und sein Wachsen während der Durchströmung im Ganzen desto beträchtlicher, je grösser die Intensität des Stromes war, der *ab* allein vorher durchfloss[1]. Nur wenn bei nicht gerade grosser Lebensfähigkeit der Nerven der *ab* allein durchsetzende Strom von geringer Intensität und die Zwischenzeit der beiden Durchströmungen nicht kürzer als die Dauer der Durchströmung von *ab* allein war, ist Φ unmittelbar nach der Schliessung der Kette ohngefähr = 1 und nimmt während der Durchströmung ab.

Versuch 112.

(Versuchsanordnung Fig. 13.)

1 *h*. 3 *m*. Mittelgrosse Rana esc. ††.

11 *m*. Rechter Ischiad. auf z und z_1, linker Ischiad. auf ζ und ζ_1 gelegt [so dass a und α und wiederum b und β die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind].

12 *m*. Momentane Schliessung (Stromeintritt bei a und α). 775.
Jetzt wird *ab* ausgeschaltet, und der volle Strom eines Daniell's durchfliesst *ab* von 1 *h*. 15 *m*. — 1 *h*. 45 *m*. Darauf wird *ab* wieder eingeschaltet.

59½ *m*. Bei Oeffnung des Bussolen-Schlüssels $9{,}5^{sc}$ Polarisationsablenkung im Sinne einer Vergrösserung von Φ.

2 *h*. 0 *m*. *K* geschlossen (1 Daniell). Stromeintritt bei a und α.

	7″.	868.	Φ nimmt zu.
1 *m*.		877.	
2 *m*.		882.	Empfindlichkeit: auf 10^{mm} Verschiebung von S c. 14^{sc} const. Ablenkung.
3 *m*.		884,5.	
4 *m*.		886.	
6 *m*.		888,5.	
10 *m*.		890. — *K* geöffnet. 2^{sc} Polarisationsablenkung im Sinne einer Verringerung von Φ.	

31 *m*. Bei Oeffnung des Bussolen-Schlüssels $3{,}5^{sc}$ Polarisationsablenkung im Sinne einer Vergrösserung von Φ.

1) Was den durch die verschiedene Grösse der inneren Polarisation von *ab* und $\alpha\beta$ in die Versuchsergebnisse eingeführten Fehler betrifft, ist hier — wie bei den Versuchen des § 5 (1) und des § 6 (2) — wiederum nur dasselbe, wie oben S. 168. Anm., geltend zu machen. Auch die von der ersten Durchströmung herrührende innere Polarisation von *ab*, welche beim Beginne der zweiten Durchströmung noch besteht, ist wegen der verhältnissmässig immer nur unbedeutenden Spiegelablenkung, welche sie verursacht, ohne wesentlichen Einfluss auf die Versuchsergebnisse. Und wie die Vers. 112—114. zeigen, kann man die sonst immer nur geringe Empfindlichkeit unserer Bussole sogar beträchtlich erhöhen, ohne dass die innere Polarisation störend in die Versuche eingreift.

2 *h.* 32 *m.* *K* geschlossen, wie vorhin.
7″. 850. *Φ* nimmt zu.
33 *m.* 858,5.
34 *m.* 862.
36 *m.* 866.
48 *m.* 871. *Φ* nimmt jetzt ab.
57 *m.* 869. — *K* geöffnet. 2^{sc} Polarisationsablenkung im Sinne einer Verringerung von *Φ*.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge erhalten, von den Muskeln aber getrennt. Die Wirbelenden lagen nach rechts, die Muskelenden nach links. *ab* und $\alpha\beta = 8^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 15^{mm}$; *bo* und $\beta o = 5^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 33^{mm}$.

Versuch 113.

10 *h.* 7 *m.* Mittelgrosse (schon lange eingefangene) Rana esc. ††.
15 *m.* Rechter Ischiad. auf *z* und z_1, linker auf ζ und ζ_1.
16 *m.* 715. [Momentane Schliessung. Stromeintritt bei *a* u. *α*].
17 *m.* Nach Ausschaltung von ζ, ζ_1 und $\alpha\beta$ wird *K* geschlossen (1 Daniell). Schieber steht auf 750. Stromeintritt bei *a* u. *α*.
32 *m.* *K* geöffnet. ζ, ζ_1 und $\alpha\beta$ wieder eingeschaltet.
46½ *m.* Bei Oeffnung des Bussolen-Schlüssels 4^{sc} Polarisationsablenkung im Sinne einer Vergrösserung von *Φ*.
47 *m.* *K* geschlossen (1 Daniell). Stromeintritt bei *a* und *α*.
7″. 718. *Φ* nimmt ab
48 *m.* 716.
49 *m.* 711,5. Empfindlichkeit: auf 10^{mm} Verschiebung c. 15^{sc} const. Ablenkung.
51 *m.* 704,5.
53 *m.* 698.
55 *m.* 693,5. — *K* geöffnet. 4^{sc} Polarisationsablenkung im Sinne einer Vergrösserung von *Φ*.

ab und $\alpha\beta = 7^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 16^{mm}$; *bo* und $\beta o = 5^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 34^{mm}$. Sonst wie bei dem vorigen Versuche.

Versuch 114.

11 *h.* 14 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ††.
22 *m.* Rechter Ischiad. auf *z* und z_1, linker auf ζ und ζ_1 gelegt.
23 *m.* 785. [Momentane Schliessung. Stromeintritt bei *a* und *α*].
24 *m.* Nach Ausschaltung von ζ, ζ_1 und $\alpha\beta$ wird *K* geschlossen (1 Daniell). Schieber steht auf 800. Stromeintritt bei *a* u. *α*.
39 *m.* *K* geöffnet. ζ, ζ_1 und $\alpha\beta$ wieder eingeschaltet.

11 *h.* 46½ *m.* Bei Oeffnung des Bussolen-Schlüssels 5,6 ^{sc} Polarisationsablenkung im Sinne einer Vergrösserung von Φ.
47 *m.* *K* geschlossen (1 Daniell). Stromeintritt bei *a* und α.
7″. 837. Φ nimmt zu.
48 *m.* 840.
49 *m.* 844. Empfindlichkeit wie bei Vers. 112.
51 *m.* 851.
53 *m.* 856,5. — *K* geöffnet. 3 ^{sc} Polarisationsablenkung im Sinne einer Vergrösserung von Φ.

ab und $\alpha\beta = 6^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 15^{mm}$; *bo* und $\beta o = 7^{mm}$; *br* und $\beta\varrho = 36^{mm}$. Sonst wie bei den vorigen Versuchen.

Diese Versuchsweise gewährt indessen keine genauere Einsicht in die Veränderungen, welche *ab* jedes Mal während und nach seiner ersten Durchströmung erfahren hat, und wohl auch deshalb führt die feinere Variirung der Dauer der ersten Durchströmung und ihres Abstandes von der zweiten Durchströmung bei gleicher Intensität des *ab* allein durchsetzenden Stromes nicht zu befriedigenden Resultaten. Wir schlagen darum noch ein zweites Versuchsverfahren ein, bei welchem die augenblicklich beabsichtigte Untersuchung mit Hülfe der Versuchsanordnung Fig. 1. ausgeführt und mit der Untersuchung der Widerstandsveränderungen, welche die intrapolare Nervenstrecke unmittelbar nach ihrer Durchströmung erfährt (s. o. Kap. II. § 9.), einfach so verknüpft wird, dass man nach der Wiederschliessung die Kette länger, als zur einmaligen Bestimmung des Widerstandes erforderlich ist, geschlossen lässt. Dieses Verfahren führen wir hier noch in grosser Ausdehnung durch, indem wir die Schliessungen und Oeffnungen der Kette der Dauer und der Zahl nach vielfach variiren. Die Versuchsbeispiele sind oben S. 92—98. bereits mitgetheilt, und die Erfahrungen, welche man bei der neuen Untersuchung gewinnt, sind folgende.

War nach einer längeren Schliessung die Kette höchstens etwa ebenso lange geöffnet, so nimmt nach der Wiederschliessung der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke sogleich von vornherein mit abnehmender Geschwindigkeit zu. Dabei ist die Geschwindigkeit der Widerstandszunahme unmittelbar nach der Wiederschliessung der Kette stets grösser, als vor der Oeffnung der Kette bei der gleichen Zunahme des Widerstandes d. h. bei der Schwankung des Widerstandes zwischen denselben Werthen, und zwar ist der Unterschied desto grösser, je weniger lange die Kette geöffnet war; die Geschwindigkeit nimmt sodann aber auch rascher ab, und die der anfänglichen Widerstandszunahme bei der Durchströmung nachfolgende Widerstandsabnahme tritt nach der Wiederschliessung schon bei

einem kleineren absoluten Werthe des Widerstandes ein, als sie vor der Oeffnung voraussichtlich eingetreten wäre oder wirklich eingetreten ist. Mit dem Wachsen der Dauer der Oeffnung der Kette wird die absolute Grösse der anfänglichen Geschwindigkeit der Widerstandszunahme nach der Wiederschliessung zuerst grösser und dann wieder kleiner, erfolgt die Abnahme der Geschwindigkeit immer weniger jäh, wird endlich der Werth, welchen der Widerstand erlangt, ehe die der Zunahme desselben nachfolgende Abnahme eintritt, immer kleiner.

War die erste Schliessung der Kette von nur kurzer Dauer und darauf die Kette wiederum höchstens etwa ebenso lange geöffnet, so treten nach der Wiederschliessung die Widerstandsveränderungen wie vorhin auf, nur ist ihre Abweichung von den Widerstandsveränderungen, welche nach der ersten Schliessung der Kette statthatten, weniger ausgesprochen.

Bei wiederholten längeren Schliessungen und Oeffnungen ist bei jeder folgenden Wiederschliessung der Verlauf der Widerstandszunahme der Nervenstrecke im Ganzen weniger steil als bei der vorhergehenden Wiederschliessung. Bei wiederholten kurzen Schliessungen und Oeffnungen aber nimmt die Widerstandszunahme der Nervenstrecke an Steilheit in ihrem Verlaufe zuerst zu und dann ab[1].

In der Fig. 7. sind in dem dritten, dem Stücke $t_2 t_3$ der Abscissenaxe entsprechenden Theile als Fortsetzung der voraufgegangenen Theile der Figur für den dort gesetzten Fall auch die Widerstandsveränderungen nach der Wiederschliessung graphisch dargestellt. Die bei O geschlossene und bei t_1 geöffnete Kette wird bei t_2 wieder geschlossen, und die Curve $W_1 W_2$ veranschaulicht in Fortsetzung der Curven OW und WW_1 die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke nach der Wiederschliessung.

(2.) Von dem Einflusse voraufgegangener Durchströmung auf die stellenweise Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit.

Um den Einfluss der voraufgegangenen Durchströmung auf die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Verarmung zu ermitteln — der Kürze halber werden wir diese Widerstandszunahme in dieser Nummer häufig ohne weiteren Zusatz als Widerstandszunahme bezeichnen —, wollen wir mit der Betrachtung der mittelst der Versuchsanordnung Fig. 1. angestellten Versuche beginnen. Halten wir uns an den Fall der Fig. 7., so werden für diesen Fall $t_2\, o_1\, o_2\, m_1\, C_2$ als Curve der Widerstandsverände-

1) Selbstverständlich sind alle diese Erfahrungen aus den Versuchen gewonnen nach Eliminirung der durch die innere Polarisation und die Erwärmung des Vergleichswiderstandes bedingten Fehler; doch werden wir nach den ausgedehnten Erörterungen des Kap. II. auf diese Eliminirung nicht weiter einzugehen brauchen.

rungen in Folge der Erwärmung und $E_1 o_1 E_3$ resp. $E_2 o_2 E_4$ als Curve der Widerstandsveränderungen in Folge der Elektrolyse nach der Wiederschliessung im Grossen und Ganzen richtig sein; von den beiden letzten Curven ist $E_1 o_1 E_3$ zu nehmen, wenn eine theilweise Wiedervereinigung der in der noch unzersetzten Nervenflüssigkeit zusammentreffenden Ionen stattfindet, $E_2 o_2 E_4$ hingegen, wenn gar keine solche Wiedervereinigung erfolgt. Die algebraische Subtraction der Ordinaten der Curven $t_2 o_1 o_2 m_1 C_2$ und $E_1 o_1 E_3$ resp. $E_2 o_2 E_4$ für jeden Punkt der Abscisse von den Ordinaten der Curve $W_1 W_2$ ergiebt alsdann $A_1 A_3$ resp. $A_2 A_4$ als die im Grossen und Ganzen richtige Curve der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung. In diesem Falle wächst also die Widerstandszunahme nach der Wiederschliessung, wie nach der ersten Schliessung der Kette, mit abnehmender Geschwindigkeit; aber ihre Geschwindigkeit ist anfangs grösser, als zur Zeit des gleichen Widerstandes der Nervenstrecke — und demgemäss auch der gleichen Intensität des die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes[1] — während der ersten Schliessung der Kette, und nimmt darauf rascher ab, so dass das Maximum der Widerstandszunahme kleiner als bei der ersten Schliessung der Kette ist. Und analysiren wir weiter, von dem Falle der Fig. 7. rückwärts gehend, die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke, welche nach kürzerer Oeffnung der Kette zur Beobachtung kommen, so ergiebt sich überall das Nämliche, nur dass einerseits der Unterschied der anfänglichen Geschwindigkeit der Widerstandszunahme nach der Wiederschliessung und der Geschwindigkeit der Widerstandszunahme bei der gleichen Stromintensität während der ersten Schliessung der Kette verhältnissmässig desto grösser ist und andererseits die anfängliche Geschwindigkeit der Widerstandszunahme nach der Wiederschliessung verhältnissmässig um so jäher abnimmt, je weniger lange die Kette geöffnet war; der Unterschied des Maximums der Widerstandszunahme nach der Wiederschliessung und des entsprechenden Maximums nach der ersten Schliessung der Kette ist dabei desto grösser, je länger die Oeffnung der Kette gedauert hatte.

Die Ergebnisse unserer Oppositionsversuche bestätigen dann auch das eben Ermittelte, soweit sie zu dahin gehenden Schlüssen berechtigen, wenn wir nur von den Versuchen, bei welchen der *ab* allein durchsetzende Strom von nur geringer Intensität und die Zwischenzeit der beiden Durchströmungen so gross wie die Dauer der Durchströmung von *ab* allein war,

1) Wegen der Schwächung der Kette bei der Fortdauer der ersten Durchströmung wird die Stromintensität zu der in Rede stehenden Zeit — trotz der Zunahme der elektromotorischen Kraft durch das Offensein der Kette (s. *Wiedemann*, Die Lehre vom Galvanismus u. s. w. Bd. I. S. 273*.) — wohl sogar noch etwas grösser gewesen sein als bei der Wiederschliessung der Kette.

einstweilen absehen. Wegen des geringeren specifischen Widerstandes der Nervenflüssigkeit von *ab* musste allerdings bei *ab* die Widerstandsabnahme in Folge der Elektrolyse kleiner sein als bei $\alpha\beta$, dafür musste aber wegen des grösseren Widerstandes von *ab* die Widerstandsabnahme in Folge der Erwärmung bei *ab* wieder grösser sein als bei $\alpha\beta$, und das erstere Weniger der Widerstandsabnahme von *ab* hätte das letztere Mehr derselben höchstens compensiren können. Die geringe Bedeutung, welche der Elektrolyse in der ersten Zeit nach der Schliessung der Kette für die Widerstandsveränderungen in Folge der Durchströmung überhaupt nur zukommt, verbietet überdies an und für sich, die Zunahme von Φ, welche wir in den Versuchen beobachtet haben, Verschiedenheiten der Elektrolyse bei *ab* und $\alpha\beta$ zuzuschreiben, und es lehren daher die Oppositionsversuche, dass bei der gleichen (anfänglichen) Stromintensität die Geschwindigkeit der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung nach der Wiederschliessung grösser ist als nach der ersten Schliessung der Kette. Dazu erfahren wir durch diese Versuche noch, dass der Unterschied der anfänglichen Geschwindigkeit der Widerstandszunahme nach der ersten Schliessung und nach der Wiederschliessung zu Gunsten der Widerstandszunahme nach der Wiederschliessung unter sonst gleichen Umständen desto grösser ist, je grösser die Intensität des Stromes war, welcher die Nervenstrecke vorher durchfloss.

Der Einfluss der voraufgegangenen Durchströmung auf die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke in Folge der Verarmung ist also, wenn wir Alles zusammenfassen, desto grösser, je grösser die Intensität des die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes war und je weniger lange die Durchströmung vorüber ist; und er besteht darin, dass die Geschwindigkeit der Widerstandszunahme unmittelbar nach der Schliessung der Kette grösser ist und darauf rascher abnimmt, als Beides bei der gleichen (anfänglichen) Stromintensität ohne die voraufgegangene Durchströmung der Fall gewesen wäre.

Mit dem blossen Erwerbe dieses Satzes ist es hier aber nicht abgethan. Nach der Oeffnung der Kette bilden die durch den Strom in der Nervenstrecke gesetzten Veränderungen allmählich sich zurück (s. o. Kap. II. § 10.), aber weil die Zurückbildung nur zum Theil eine vollkommene ist und hinsichts der gleichzeitigen Grösse der verschiedenartigen Veränderungen in einer von der Ausbildung verschiedenen Weise erfolgt, erlangt die Nervenstrecke nie die Beschaffenheit wieder, welche sie bei der ersten Schliessung der Kette oder zu irgend einer Zeit während der Durchströmung besass; die Wiederschliessung der Kette trifft also, je nachdem sie früher oder später erfolgt, die Nervenstrecke mehr oder weniger durch den Strom verändert und dabei doch immer anders beschaffen an als zu irgend einer Zeit während der ersten Schliessung der Kette. Gerade daran knüpft

sich nun das besondere Interesse, welches die vorliegende Untersuchung zur Zeit uns bietet. Denn nachdem wir das Verhalten der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung bei der Durchströmung im Allgemeinen kennen gelernt und die Abhängigkeit dieser Widerstandszunahme von den einzelnen durch den Strom in der Nervenstrecke gesetzten Veränderungen noch besonders studirt haben, müssen wir, wenn wir anders überall eine richtige und ausreichende Einsicht gewonnen haben, wie auch die gleichzeitige Grösse der durch den Strom in der Nervenstrecke gesetzten Veränderungen bei der Wiederschliessung der Kette verschieden sein mag, aus der Beschaffenheit der Nervenstrecke bei der Wiederschliessung nunmehr von dem Verhalten der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung nach der Wiederschliessung Rechenschaft geben können. Es liegt uns also noch ob, was wir über den Einfluss der voraufgegangenen Durchströmung ermittelt und eben ausgesprochen haben, auf Grund der abweichenden Beschaffenheit der Nervenstrecke zur Zeit der ersten Schliessung und zur Zeit der Wiederschliessung der Kette zu erklären.

Die Verschiedenheit der Grösse unseres Einflusses ist sofort dadurch verständlich, dass die durch den Strom in der Nervenstrecke gesetzten Veränderungen mit der Stromintensität wachsen und mit der Dauer der Oeffnung der Kette abnehmen. Weniger leicht aber ist es, in's Reine zu kommen hinsichts der Art des Einflusses, und diese kann sogar zunächst geradezu unerklärlich scheinen, wenn man, wie wir vom Kap. II. her es gewohnt sind, als von Bedeutung für die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung nur die Stromintensität, die Temperatur der Nervenstrecke und den specifischen Widerstand der Nervenflüssigkeit in's Auge fasst; denn wohl liesse dann ein langsameres Wachsen der Widerstandszunahme nach der Wiederschliessung durch den zú der Zeit geringeren specifischen Widerstand der Nervenflüssigkeit und die unter Umständen höhere Temperatur der Nervenstrecke sich begreifen, die anfänglich grössere Geschwindigkeit aber derselben Widerstandszunahme nach der Wiederschliessung bleibt durchaus räthselhaft. Doch fallen alle Schwierigkeiten fort, sobald man noch die Gestaltsverschiedenheit der Nervenstrecke zur Zeit der ersten Schliessung und zur Zeit der Wiederschliessung der Kette mit in Betracht zieht. Erstens muss nach den Erfahrungen des § 2 (4) der kleinere Querschnitt der vorher durchströmten Nervenstrecke in der Stromeintrittsgegend ein rascheres Wachsen der Widerstandszunahme nach der Wiederschliessung zur Folge haben. Freilich geht neben der Querschnittsabnahme in der Stromeintrittsgegend noch eine Querschnittszunahme in der Stromaustrittsgegend einher (vgl. o. Kap. II. § 11. u. 12.): allein die letztere ist lange nicht so beträchtlich wie die erstere, und wie aus der Gestaltsverschiedenheit der Nervenstrecke im Ganzen ein grösserer Widerstand für

die vorher durchströmte Nervenstrecke resultirt, so wird auch nach den Ermittelungen des § 2. ein rascheres Wachsen der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung als Resultat der Gestaltsverschiedenheit im Ganzen sich nicht bezweifeln lassen. Zweitens muss gemäss der Beziehung der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung zur Verarmung selbst, wie sie oben S. 152. ausgeführt ist, die gleiche oder selbst eine geringere Verarmung bei der vorher durchströmten Nervenstrecke eine grössere Widerstandszunahme in Folge der Verarmung bedingen als bei der noch nicht durchströmten Nervenstrecke, weil die Nervenflüssigkeit bei der ersteren Nervenstrecke mehr von der Walzenform abweicht als bei der zweiten Nervenstrecke. Und mit Hülfe dieser beiden Folgen der Gestaltsverschiedenheit ist die verlangte Erklärung ohne Schwierigkeit zu geben.

Es wird der Aufmerksamkeit nicht entgangen sein, dass wir dieses Mal nicht, wie sonst, aus dem Verhalten der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung das entsprechende Verhalten der Verarmung selbst unmittelbar erschlossen haben. In der That geht dies der zuletzt erwähnten Folge der Gestaltsverschiedenheit wegen hier nicht an. Nur das ist ausser Frage, dass nach der Wiederschliessung die anfängliche Geschwindigkeit der Verarmung rascher abnimmt und die Verarmung überhaupt nur eine geringere schliessliche Grösse gewinnt, als nach der ersten Schliessung der Kette; es muss dagegen vor der Hand dahingestellt bleiben, ob die Verarmung unmittelbar nach der Wiederschliessung rascher oder gleich rasch oder langsamer wächst als unmittelbar nach der ersten Schliessung der Kette. Gleichviel nun wie die Verarmung unmittelbar nach der Wiederschliessung wächst, so ist die anfänglich grössere Geschwindigkeit der Widerstandszunahme nach der Wiederschliessung immer als die Folge anzusehen der Gestaltsverschiedenheit der Nervenstrecke, welche den Einfluss des geringeren specifischen Widerstandes der Nervenflüssigkeit und in den Fällen nicht langer Oeffnung der Kette auch der höheren Temperatur der Nervenstrecke in der ersten Zeit nach der Wiederschliessung unterdrückt; nur ist der Sieg der Gestaltsverschiedenheit ein wahrer d. h. in der grösseren Verarmung, welche sie bedingt, wesentlich begründeter, wenn die Verarmung rascher wächst, ein scheinbarer hingegen, wenn die Verarmung langsamer wächst. Und wenn darauf die Widerstandszunahme nach der Wiederschliessung im Wachsen rascher gehemmt ist als nach der ersten Schliessung der Kette, so ergiebt sich die Erklärung hierfür gerade auf Grund der Analysen, welche oben die Thatsache herausgestellt haben, dadurch, dass in Folge der geringeren Abnahme der Stromintensität nach der Wiederschliessung auch die Temperatur der Nervenstrecke von ihrem Maximum aus weniger abnimmt, so dass das Wachsen der Widerstandszunahme nach der Wiederschliessung durch die geringere Abnahme der

Stromintensität zwar begünstigt, noch mehr aber durch die geringere Abnahme der Temperatur der Nervenstrecke gehemmt ist. Für den Fall, dass die Verarmung unmittelbar nach der Wiederschliessung langsamer als nach der ersten Schliessung der Kette wächst, kommt dann als weiteres Erklärungsmoment noch hinzu, dass die Gestaltsverschiedenheit der Nervenstrecke desto geringer ist, eine je spätere Zeit der ersten und der zweiten Durchströmung man in's Auge fasst.

Jetzt reihen sich auch diejenigen Oppositionsversuche, bei welchen Φ unmittelbar nach der Schliessung der Kette ohngefähr = 1 war und bei der Durchströmung abnahm, uud welche wir, da sie eine Ausnahme von der Regel zu sein schienen, vorhin bei Seite gelassen haben, naturgemäss an die übrigen Versuche an. Die Nerven waren bei jenen Versuchen weniger lebensfähig, die Intensität des *ab* allein durchsetzenden Stromes war gering gewesen, endlich die Oeffnung der Kette hatte lange angedauert: die Gestaltsverschiedenheit der frischen und der vorher durchströmten Nervenstrecke konnte daher nur höchst gering sein, wie sie denn auch der Wahrnehmung sich ganz entzog, und der Einfluss des geringeren specifischen Widerstandes der Nervenflüssigkeit liess sich in diesen Fällen durch den Einfluss der Gestaltsverschiedenheit nicht unterdrücken; nur angedeutet war das Eingreifen der Gestaltsverschiedenheit dadurch, dass die Abnahme von Φ bei der Durchströmung mit anfangs zunehmender und dann abnehmender Geschwindigkeit erfolgte. In allen übrigen Fällen, in welchen der Einfluss der Gestaltsverschiedenheit siegte, war auch die Verengung an der vorher durchströmten Nervenstrecke zur Zeit der Wiederschliessung deutlich sichtbar.

Ueber den Einfluss der voraufgegangenen Durchströmung auf die Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke ist den Bemerkungen, welche wir schon vorhin haben machen müssen, nur wenig noch hinzuzufügen, da mehrfache Versuche, experimentell weiter vorzudringen, fehlgeschlagen sind. Wie die Beobachtung lehrt und die oben S. 104. beschriebene Gestaltsveränderung des Nerven auch ohne Weiteres erklärlich macht, ist mit der Verengung des durchströmten Nerven an der Stromeintrittsstelle eine Verkleinerung der Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der positiven Zuleitungsröhre nicht verbunden; und es lässt sich nicht gut denken, dass bei der Wiederschliessung, besonders wenn diese nicht zu lange nach der Oeffnung der Kette erfolgt, so dass die Temperatur der Nervenstrecke noch wesentlich erhöht ist, durch die Querschnittsverschiedenheit der Nervenstrecke allein die Verarmung mehr sollte beschleunigt sein, als sie in Folge des geringeren specifischen Widerstandes der Nervenflüssigkeit und der erhöhten Temperatur der Nervenstrecke verzögert sein muss. Es muss darum als höchstwahrscheinlich gelten, dass die Verarmung unmittelbar

nach der Wiederschliessung langsamer wächst als unmittelbar nach der ersten Schliessung der Kette.

Zum Schlusse wollen wir einen kleinen Gewinn, welchen wir noch nebenbei aus der letzten Erörterung ziehen können, nicht vernachlässigen, eine Vervollkommnung unserer Analysen im Kap. II. Wir sind hier auf die Bedeutung geführt worden, welche der mit der Verarmung verbundenen Gestaltsveränderung der Nervenstrecke für die Verarmung selbst zukommt; und wir haben danach zu der Erklärung der Curve $\dot{O}A$ der ersten Hälfte der Fig. 5. noch zu bemerken, dass die Gestaltsveränderung der Nervenstrecke bei der Durchströmung das Wachsen der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung begünstigt, und der Erklärung der Curve $t_1 s_1 s_2 A_1$ der zweiten Hälfte der Fig. 5. noch hinzuzufügen, dass die Gestaltsveränderung der Nervenstrecke nach der Umkehrung der Stromrichtung das Wachsen der Widerstandszunahme in Folge der neuen Verarmung zunächst hemmt, später aber gleichfalls begünstigt.

(3.) Von den chemischen Vorgängen im Nerven und den Veränderungen der chemischen Constitution des Nerven unter verschiedenen Umständen, insbesondere bei der Durchströmung.

Wir schweifen jetzt scheinbar ab und bleiben doch, wie sich später herausstellen wird, in Verbindung mit der in (1) ausgeführten Untersuchung, indem wir ein tieferes Verständniss zu gewinnen suchen der Veränderungen, welche die chemische Constitution des Nerven unter verschiedenen Umständen und insbesondere bei der Durchströmung erfährt.

Zuvörderst aber haben wir eine Berichtigung vorzunehmen, welche durch die Erfahrungen des § 6. geboten ist. Man erinnert sich vom § 7. des Kap. II. her, dass die Widerstandsabnahme, welche bei andauernder Durchströmung des Nerven in Einer Richtung der anfänglichen Widerstandszunahme nachfolgt, nur durch einen dritten den Widerstand beeinflussenden Vorgang, der neben der Erwärmung und der Flüssigkeitsfortführung unter dem Einflusse des Stromes in der intrapolaren Nervenstrecke Platz greift, sich erklären liess, und dass dieser dritte Vorgang in der die chemische Constitution der Nervenflüssigkeit verändernden Elektrolyse[1]

1) Ich benutze die Gelegenheit, den Bemerkungen oben S. 78—9. hinzuzufügen, dass *Wiedemann* die Möglichkeit einer Abnahme des Widerstandes freier Flüssigkeiten in Folge der Elektrolyse, wenn auch nicht auf Grund von Versuchsergebnissen, folgendermassen erwähnt: »In einzelnen Fällen kann der Uebergangswiderstand sogar negativ sein, wenn nämlich die durch die Elektrolyse ausgeschiedenen Stoffe besser leiten als der Elektrolyt. — Dies wird z. B. eintreten bei der Zersetzung der Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd zwischen Platinelektroden, wenn sich allmälig an der positiven Elektrode Schwefelsäure abscheidet und in der umgebenden Lösung vertheilt« (a. a. O.

gefunden wurde. In Folge dessen musste in die Analyse der Widerstandsveränderungen der durchströmten Nervenstrecke zu den Widerstandsveränderungen in Folge der Erwärmung und in Folge der stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit noch eine Widerstandsabnahme in Folge der Elektrolyse aufgenommen werden, und die Abnahme des specifischen Widerstandes der Nervenflüssigkeit in Folge der Elektrolyse hat weiterhin bei unseren Erörterungen eine grosse Rolle gespielt. Dass ausser der Elektrolyse noch ein anderer durch den Strom in der Nervenstrecke gesetzter Vorgang chemische Veränderungen der Nervenflüssigkeit herbeiführt, war uns damals unbekannt, und haben wir erst vorhin im § 6. für die Erwärmung erfahren, da ja die durch die Temperaturerhöhung modificirten Veränderungen des Nerven mit der Zeit, welche wir dort studirt haben, identisch sind mit den durch die Temperaturerhöhung bedingten chemischen Veränderungen der Nervenflüssigkeit. Danach hätten wir aber oben im § 7. des Kap. II. nicht blos die Elektrolyse, sondern diese und die Erwärmung zugleich als Vorgänge, welche die chemische Constitution der Nervenflüssigkeit verändern, herbeiziehen müssen; und unsere Analysen wie die an sie sich anschliessenden Erörterungen bedürfen daher der Berichtigung dahin, dass, was wir bisher als Widerstandsabnahme in Folge der Elektrolyse hingestellt haben, nunmehr überall als Widerstandsabnahme in Folge der durch die Erwärmung und die Elektrolyse bedingten chemischen Veränderungen der Nervenflüssigkeit oder, wie wir sie kürzer bezeichnen wollen, als Widerstandsabnahme in Folge der chemischen Veränderungen durch den Strom anzusprechen ist.

Mit dieser Berichtigung könnte mancher Erwerb, den wir gesichert glaubten, wieder in Frage gestellt scheinen, weil wir nach den allgemeinen Gesetzen der Elektrolyse überall oben im Kap. II. den Verlauf der Widerstandsabnahme in Folge der chemischen Veränderungen durch den Strom und in diesem Kapitel das Verhalten derselben Widerstandsabnahme unter verschiedenen Umständen bestimmt haben. Indessen hätten wir, wie ein Rückblick lehrt, bei der geringen Genauigkeit, welche hier überall nur erreichbar ist, bei den Analysen des Kap. II. und des § 1. dieses Kapitels für die Widerstandsabnahme in Folge der Elektrolyse nur in Anspruch zu

Bd. I. S. 430*). Dass diese Stelle früher mir entgangen ist, erklärt sich leicht durch die unmittelbar vorhergehende Einleitung des Kapitels: »Die Intensität eines galvanischen Stromes, welcher einen Elektrolyt durchfliesst, kann auf verschiedene Weise in Folge der elektrolytischen Processe geändert werden. 1) Indem sich auf der einen oder anderen Elektrode Substanzen abscheiden, welche dem Strome einen grösseren (!) Widerstand darbieten, als der Elektrolyt selbst. Diese Erscheinungen sind es, welche das Auftreten des Widerstandes des Ueberganges bedingen. 2) Indem sich an den Elektroden . . . Stoffe abscheiden, welche . . . (*a.* Polarisation, *b.* Positive Polarisation, Passivität u. s. w. bedingen)« (ebenda S. 429*).

nehmen brauchen, dass sie mit der Stromdauer und der Stromintensität wächst: und das entsprechende Verhalten der Widerstandsabnahme in Folge der chemischen Veränderungen durch den Strom ist offenbar nicht zu bezweifeln. Und wo wir sonst eine bestimmte Abhängigkeit der Widerstandsabnahme in Folge der Elektrolyse hingestellt haben, ist sie entweder nunmehr selbstverständlich auch von der Widerstandsabnahme in Folge der chemischen Veränderungen durch den Strom anzuerkennen (S. 176, 268, 287.), oder es lässt sich der unmittelbare Nachweis derselben auf die letztere Widerstandsabnahme übertragen (S. 204.). Höchstens könnte es noch fraglich sein, ob die Widerstandsabnahme in Folge der chemischen Veränderungen durch den Strom mit der Lebensfähigkeit des Nerven wächst (S. 196.): und dies lässt sich in derselben Weise, wie S. 204. für den lebenden und den todten Nerven, auch für den mehr und den weniger lebensfähigen Nerven erweisen. Es stellt sich danach als für die bisherigen Ergebnisse unserer Untersuchungen durchaus bedeutungslos heraus, dass wir an die Stelle der Widerstandsabnahme des Nerven in Folge der Elektrolyse jetzt die Widerstandsabnahme desselben in Folge der chemischen Veränderungen durch den Strom treten lassen. Die Folge wird aber auch zeigen, dass, die Fälle grosser Stromintensitäten ausgenommen, die chemischen Veränderungen des Nerven durch den Strom im Wesentlichen mit den chemischen Veränderungen des Nerven in Folge der Elektrolyse zusammenfallen, wenn man, wie wir es von Anfang an gethan haben (s. S. 78 ff.), unter den letzteren nicht blos die unmittelbar durch die Abscheidung der Ionen, sondern auch die durch die Verbindungen, welche die Ionen nach ihrer Abscheidung eingehen, gesetzten Veränderungen versteht.

Es ist ein Postulat, dass die chemische Constitution des Nerven im unversehrten lebenden Thiere, dessen Gesundheits- und Ernährungszustand keinen Schwankungen unterworfen ist, innerhalb längerer — im Verhältniss zur Lebensdauer des Thieres kleiner — Fristen im Wesentlichen dieselbe bleibt; so dass zwar vorübergehende chemische Veränderungen des Nerven, z. B. etwa bei seiner Thätigkeit, nicht ausgeschlossen sind, diese Veränderungen aber immer durch Rückkehr des Nerven auf seine frühere Beschaffenheit bald wieder aufgehoben sein müssen. Im Gegensatze dazu sehen wir, wenn wir das Thier tödten oder den Nerven vom lebenden Thiere trennen, die chemische Constitution des Nerven in gewisser Weise fortschreitend sich ändern, mit der Zeit nach dem Tode resp. nach der Trennung am Nerven gewisse chemische Veränderungen vor sich gehen, welche durch unsere Untersuchungen, wenn auch nicht genau, so doch in einer vor der Hand ausreichenden Weise als unsere »inneren Vorgänge mit der Zeit im Nerven« uns bekannt geworden sind. Unsere beiden Massnahmen, die Tödtung des Thieres und die Trennung des

Nerven vom lebenden Thiere, haben nun in Bezug auf den Nerven nur das gemein, dass der Nerv dem Einflusse der Blutcirculation entzogen wird d. h. die Stoffzufuhr zum Nerven und die Stoffabfuhr vom Nerven aufgehoben werden. Danach muss die Constanz der chemischen Constitution des Nerven im unversehrten lebenden Thiere eine Folge der Stoffeinnahme und der Stoffausgabe des Nerven, und die chemischen Veränderungen des Nerven mit der Zeit müssen Folgen der Hemmung jenes Stoffwechsels des Nerven sein. Da aber gerade ein Stoffwechsel Veränderungen der chemischen Constitution herbeiführen muss und der Mangel eines Stoffwechsels solche Veränderungen nicht herbeiführen kann, ist unser Ergebniss nur so zu verstehen, dass im Nerven aus inneren Gründen chemische Processe statthaben, und dass die mit diesen Processen nothwendig verknüpfte Veränderung der chemischen Constitution des Nerven im unversehrten lebenden Thiere in Folge des Stoffwechsels sofort aufgehoben wird, nach dem Tode des Thieres oder nach der Trennung des Nerven hingegen in Folge des Mangels des Stoffwechsels bestehen bleibt. Die chemischen Veränderungen des Nerven mit der Zeit sind also die unmittelbaren Folgen der im Nerven nach wie vor dem Tode des Thieres oder der Trennung des Nerven aus inneren Gründen statthabenden chemischen Processe.

Solche Processe sind denn auch aus anderen Gründen, vornehmlich durch die Existenz des Nervenstromes, zweifellos, und wir können Genaueres über sie aussagen. Zunächst sind es Processe, welchen der Nervenstrom seinen Ursprung verdankt: Oxydationsprocesse, wie nicht wohl in Frage kommen kann, da in allen anderen Organen des Thierkörpers, die Horngebilde ausgenommen, Oxydationsprocesse statthaben und eine Sauerstoff-Aufnahme und eine Kohlensäure-Ausscheidung beim Nerven nach seiner Isolirung direct nachgewiesen sind[1]. Ausserdem aber sind es noch Processe, welche der Nervenstrom herbeiführt: elektrolytische Processe; denn gleichviel welche Erklärung man den elektrischen Erscheinungen am Nerven zu Grunde legen will, immer muss man eine Elektrolyse der Nervenflüssigkeit und eine häufige Abscheidung von Ionen aus derselben statuiren. Die chemischen Veränderungen des Nerven mit der Zeit sind also die unmittelbaren Folgen der Oxydationsprocesse und der elektrolytischen Processe im Nerven, von welchen die ersteren die Ursache elektrischer Kräfte sind und die letzteren durch eben diese Kräfte bedingt sind.

Selbstverständlich müssen aber von der Unterbrechung des Stoff-

1) *G. Valentin*, Eudiometrische Studien über Muskeln und Nerven. Archiv für physiologische Heilkunde, herausgeg. von *Wunderlich*. Neue Folge. Bd. III. Jahrg. 1859. S. 474—9*; 485*.

wechsels an im Nerven die für jene Oxydationsprocesse erforderlichen und die der Elektrolyse unterliegenden Substanzen immer mehr verbraucht und dafür die Oxydationsproducte und die elektrolytischen Producte immer mehr aufgehäuft werden. Schliesslich muss ein Moment eintreten, in welchem das jener Oxydation verfallende Material völlig aufgebraucht ist, und mit diesem Momente müssen dann jene Oxydations- und elektrolytischen Processe im Nerven aufhören. Nennen wir diesen durch das Verschwinden der elektrischen Kräfte des Nerven physikalisch charakterisirten Moment den Tod des Nerven, so können wir also von den chemischen Veränderungen des Nerven mit der Zeit bis zum Tode des Nerven oder von unseren inneren Vorgängen, welche bis zum (zweiten) Maximum des Widerstandes mit der Zeit im Nerven statthaben, Folgendes aussagen: sie sind die Folgen der im Nerven nach wie vor dem Tode des Thieres oder der Trennung des Nerven statthabenden Oxydations- und elektrolytischen Processe und bestehen einmal in dem Verbrauche der für jene Oxydationsprocesse erforderlichen und der der Elektrolyse unterliegenden Substanzen und sodann in der Aufhäufung der Oxydationsproducte und der elektrolytischen Producte.

Indessen ist der Satz noch nicht genau. Auch noch nach seinem Tode erfährt der Nerv chemische Veränderungen mit der Zeit, und die chemischen Processe, welche im todten Nerven aus inneren Gründen statthaben, sind zweifellos wieder Oxydationsprocesse, zweifellos schon deshalb, weil auch am todten Nerven eine Sauerstoff-Aufnahme und eine Kohlensäure-Ausscheidung beobachtet sind[1]: nur muss dann die Substanz, welche der Oxydation unterliegt, eine andere sein als bei dem Nerven des unversehrten lebenden Thieres, und elektrische Kräfte entspringen dann der Oxydation nicht. Die im todten Nerven der Oxydation unterliegende Substanz lässt sich auch sogleich näher bezeichnen. Denn unser den Widerstand vermehrender Vorgang, die Consistenzzunahme des absterbenden Nerven kann offenbar nur in der Aufhäufung einer im Nerven des unversehrten lebenden Thieres nicht vorhandenen Substanz, eines dem festen Aggregatzustande sich nähernden Productes der dem lebenden Nerven eigenthümlichen Oxydations- und elektrolytischen Processe bestehen; und da der Widerstand und die Consistenz des Nerven nach dessen Tode abnimmt, muss eben dieses dem festen Aggregatzustande sich nähernde Product für die Oxydationsprocesse des todten Nerven verbraucht, zu besser leitenden und mehr flüssigen Substanzen oxydirt werden. Es ist aber kein Grund vorhanden anzunehmen, dass diejenigen Oxydationsprocesse, welche dem todten Nerven ausschliesslich zukommen, erst gerade mit dem Tode des

1) *Valentin* a. a. O.

Nerven anheben; vielmehr ist es natürlich, dass sie, sobald das dem festen Aggregatzustande sich nähernde Product der dem lebenden Nerven eigenthümlichen chemischen Processe im Nerven sich vorfindet, beginnen und neben den eben genannten Processen einhergehen. Die chemischen Veränderungen des Nerven mit der Zeit bis zum Tode des Nerven sind also auch die Folgen solcher Oxydationsprocesse, wie sie dem todten Nerven ausschliesslich zukommen, und schliessen den theilweisen Wiederverbrauch des dem festen Aggregatzustande sich nähernden Productes der dem lebenden Nerven eigenthümlichen chemischen Processe und die Aufhäufung der an die Stelle dieses Productes tretenden besser leitenden und mehr flüssigen Oxydationsproducte mit ein.

Was die genaueren Beziehungen betrifft, in welchen ein jeder unserer beiden Vorgänge, welche bis zum (zweiten) Maximum des Widerstandes mit der Zeit im Nerven statthaben, zu den einzelnen Veränderungen der chemischen Constitution des Nerven steht, in welche die gesammten chemischen Veränderungen des Nerven mit der Zeit eben sich haben zerlegen lassen, so wissen wir bisher erst, dass der den Widerstand vermindernde Vorgang die Aufhäufung der Producte der dem todten Nerven eigenthümlichen Oxydationsprocesse einschliesst, und dass der den Widerstand vermehrende Vorgang nur in der Aufhäufung von Producten der dem lebenden Nerven eigenthümlichen chemischen Processe bestehen kann. Auf Grund vorliegender Erfahrungen erweitert sich aber unsere Einsicht sogleich. Denn indem die Widerstandsveränderungen des Nerven in Folge seiner chemischen Veränderungen durch den Strom sich zusammensetzen aus den Widerstandsveränderungen des Nerven in Folge seiner chemischen Veränderungen durch die Erwärmung und aus den Widerstandsveränderungen des Nerven in Folge der Elektrolyse, lassen sich aus den Verschiedenheiten der Widerstandsveränderungen des Nerven in Folge seiner chemischen Veränderungen durch die Erwärmung einerseits und durch die Durchströmung andererseits die Widerstandsveränderungen des Nerven in Folge der Elektrolyse entnehmen d. h. diejenigen Widerstandsveränderungen des Nerven, welche durch den Hinzutritt und die Aufhäufung der elektrolytischen Producte bedingt sind. Der Widerstand des Nerven nimmt nun, wie wir wissen, in Folge der chemischen Veränderungen durch den Strom ab, in Folge der chemischen Veränderungen durch die Erwärmung hingegen meist zu: die Elektrolyse bedingt also eine Abnahme des Widerstandes. Danach kann unser den Widerstand vermehrender Vorgang Nichts mit den elektrolytischen Producten zu schaffen haben, sondern muss in der Aufhäufung eines Oxydationsproductes bestehen; und der den Widerstand vermindernde Vorgang muss die Aufhäufung der elektrolytischen Producte einschliessen.

Wie wir aber eben ganz allgemein erschlossen haben, dass mit der Vermehrung der elektrolytischen Producte im Nerven eine Abnahme des Widerstandes des Nerven verknüpft ist, sind gewisse Bedenken nicht ausgeschlossen, und statt diese einzeln zu widerlegen, wollen wir lieber den erforderlichen Nachweis für den Einfluss der Elektrolyse auf den Widerstand noch im Speciellen in strengerer Weise führen. Wir gehen dazu vom Einflusse der Erwärmung auf die chemische Constitution des Nerven aus. Setzen wir den eben vom lebenden Thiere getrennten Nerven einer höheren Temperatur aus, so werden offenbar die Oxydationsprocesse und mittelbar durch die dem lebenden Nerven eigenthümlichen Oxydationsprocesse auch die elektrolytischen Processe im Nerven gesteigert sein und zwar desto mehr, je höher die Temperatur ist; es wird also eine mit der Temperatur wachsende Beschleunigung des Ablaufes der chemischen Veränderungen des Nerven mit der Zeit die Folge der Temperaturerhöhung sein. In vollster Uebereinstimmung damit steht das Resultat unserer Untersuchungen im § 6.; nur haben wir dort gefunden, dass zu der rein beschleunigenden Wirkung der Wärme auf unsere inneren Vorgänge mit der Zeit im Nerven noch eine zweite Wirkung sich hinzugesellt, die in einer mit der Temperatur und deren Dauer wachsenden Begünstigung der Ausbildung unseres den Widerstand vermindernden Vorganges mit der Zeit im Nerven oder eines neuen den Widerstand vermindernden Vorganges auf Kosten der Ausbildung unseres den Widerstand vermehrenden Vorganges besteht. Aber diese zweite Wirkung der Wärme, auf deren Verständniss wir zunächst verzichten, macht, wie aus den der Fig. 17. zu Grunde liegenden Erfahrungen sich ergiebt, erst von c. 24° C. an sich bemerklich, so dass bei niedereren Temperaturen eine reine Beschleunigung der chemischen Veränderungen des Nerven mit der Zeit die Folge der Erwärmung des Nerven ist. Wenn wir also bei 12—16° C. Zimmertemperatur den eben dem lebenden Thiere entnommenen Nerven von einem schwachen Strome durchsetzt sein lassen, hat in diesem Nerven dem nicht durchströmten Nerven gegenüber nur eine beschleunigte Aufhäufung der Oxydations- und elektrolytischen Producte — also durchaus kein abweichender chemischer Vorgang — und dem in gleichem Grade erwärmten Nerven gegenüber nur eine vermehrte Aufhäufung der elektrolytischen Producte statt. Während aber der Widerstand des in so mässigem Grade erwärmten Nerven stets mit der Zeit zunimmt, nimmt der Widerstand unseres durchströmten Nerven in Folge der chemischen Veränderungen durch den Strom mit der Zeit ab: die der anfänglichen Widerstandszunahme gerade hier stets nachfolgende Widerstandsabnahme bei der Durchströmung und die wesentlich geringere Steilheit des Gesammtverlaufes der Widerstandszunahme nach der Umkehrung der Stromrichtung lassen darüber keinen Zweifel bestehen. Es ist

somit ganz ausser Frage gestellt, dass durch die Aufhäufung der elektrolytischen Producte im Nerven eine Abnahme des Widerstandes des Nerven bedingt ist.

Unser den Widerstand vermehrender Vorgang besteht also in der Aufhäufung eines dem festen Aggregatzustande sich nähernden Productes der dem lebenden Nerven eigenthümlichen Oxydationsprocesse, und unser den Widerstand vermindernder Vorgang schliesst die Aufhäufung einmal der elektrolytischen Producte und sodann auch der Producte der dem todten Nerven eigenthümlichen Oxydationsprocesse, so weit diese schon an dem lebenden Nerven ablaufen, ein. Wohlbemerkt sagen wir nicht, dass in dieser Aufhäufung unser den Widerstand vermindernder Vorgang besteht, weil wahrscheinlich die dem lebenden Nerven eigenthümlichen Oxydationsprocesse ein doppeltes Product liefern, neben jenem dem festen Aggregatzustande sich nähernden Producte noch ein anderes Product, das besser leitet als die der Oxydation unterliegende Substanz, und unser den Widerstand vermindernder Vorgang dann auch die Aufhäufung des letzteren Productes enthalten muss. Darüber lässt sich mit unseren Hülfsmitteln keine Auskunft weiter gewinnen: wir sind dafür aber im Stande, noch nach einer anderen Richtung hin einen wesentlichen Schritt vorwärts zu thun. Wir haben bisher immer von der Aufhäufung nicht der Ionen, sondern der elektrolytischen Producte im Nerven gesprochen in Erwägung der Möglichkeit, dass die Ionen der Nervenflüssigkeit nicht so, wie sie abgeschieden sind, unverändert sich aufhäufen, sondern sämmtlich oder zum Theil mit anderen im Nerven befindlichen Substanzen Verbindungen eingehen, indem wir für den Fall diese Verbindungen unter den elektrolytischen Producten mit verstanden. Jetzt wollen wir die Frage zur Entscheidung bringen, ob die Oxydationsproducte einerseits und die Ionen andererseits im Nerven entstehen und aufgehäuft werden, ohne einander zu stören oder zu beeinflussen.

Lassen wir dem eben getödteten Thiere entnommene Nerven in ganzer oder fast ganzer Länge — zwischen stumpfen Thonspitzenkanten, damit die Verarmung den Strom nicht zu sehr schwächt — von Strömen mässiger Intensität (bis 4 Grove's) andauernd durchflossen sein, so zeigt sich an diesen Nerven, wenn man nur die schon früher (S. 107.) erwähnte beschränkte Consistenzveränderung der Stromeintrittsgegend ausser Acht lässt, auch bei einer weit über den Verlust der Leistungsfähigkeit hinaus — unter Erneuerung der Kette oder Säule auf viele Stunden — sich erstreckenden Durchströmung doch zu keiner Zeit eine auffallende Zunahme der Consistenz, wie wir sie an den nicht durchströmten Nerven im § 5. bei ausreichend langer Beobachtung derselben stets gefunden haben; auch eine recht deutliche Consistenzzunahme tritt selten — unter nicht genauer

erforschten Umständen — auf, und meist ist nur eine eben deutliche Consistenzzunahme, öfters sogar nicht einmal eine solche wahrzunehmen. Schon wenn die Nerven nur während der ersten 1—2 Stunden nach ihrer Trennung vom lebenden Gesammtorganismus durchströmt waren, wird ihre Consistenz später nie mehr auffallend, sondern höchstens deutlich vergrössert gefunden; und da die unter denselben Bedingungen gehaltenen, jedoch nicht durchströmten zweiten Nerven derselben Thiere die auffallende Consistenzzunahme wie gewöhnlich zeigen, ist jeder Gedanke an eine Täuschung ausgeschlossen. Durch die Durchströmung ist also die Aufhäufung des dem festen Aggregatzustande sich nähernden Oxydationsproductes im Nerven mehr oder weniger unterdrückt. Und diese Unterdrückung lässt sich nicht ausschliesslich der mit der Durchströmung verbundenen Erwärmung des Nerven zuschreiben, weil sie auch bei schwachen Strömen beobachtet wird, bei welchen unsere zweite Wirkung der Wärme (s. o. S. 272 ff.) von gar keiner oder doch nur sehr geringer Bedeutung sein kann. Es hat demnach die mit der Durchströmung verbundene Elektrolyse des Nerven d. h. die durch den Strom vermehrte Abscheidung der Ionen oder vermehrte Aufhäufung der elektrolytischen Producte im Nerven eine verminderte Aufhäufung des dem festen Aggregatzustande sich nähernden Oxydationsproductes zur Folge.

Dieses Ergebniss lässt eine doppelte Auslegung zu. Entweder nämlich rührt die verminderte Aufhäufung jenes Oxydationsproductes im durchströmten Nerven nur daher, dass, weil eine und dieselbe Substanz des Nerven oxydirt und in ihre Ionen zerlegt wird, in Folge der von uns herbeigeführten Vermehrung der Elektrolyse weniger Material für die Oxydationsprocesse disponibel geblieben ist; oder aber es ist die verminderte Aufhäufung jenes Oxydationsproductes im durchströmten Nerven ausserdem noch oder gar ausschliesslich darin begründet, dass entweder die Kationen oder die Anionen der Nervenflüssigkeit jenes Oxydationsproduct vernichten, indem sie sich mit ihm zu einer besser leitenden und mehr flüssigen Substanz verbinden. Um zwischen beiden Möglichkeiten zu entscheiden, finden wir folgenden Weg.

Es sei eine Strecke eines dem eben getödteten Thiere entnommenen Nerven eine längere Zeit hindurch, doch bei Weitem nicht so lange, dass der Tod der Nervenstrecke nahe ist, durchströmt worden. Alsdann bilden sich nach der Durchströmung die durch den Strom in der Nervenstrecke gesetzten Veränderungen theils vollkommen theils unvollkommen zurück (vgl. o. Kap. II. § 9—11.); und wenn auch das Ende dieser Zurückbildung nicht mit Sicherheit zu bestimmen ist, so wird es doch, zumal da die Zurückbildung von der Oeffnung der Kette an mit rasch abnehmender Geschwindigkeit erfolgt, ohne wesentlichen Fehler zu der Zeit sich annehmen

lassen, zu welcher die Kette etwa so lange wieder geöffnet ist, als sie vorher geschlossen war. Zu dieser Zeit ist die Nervenstrecke auf die Temperatur, welche sie vor der Durchströmung besass, zurückgekehrt; ihre durch den Strom herbeigeführte stellenweise Verarmung an Flüssigkeit ist nur theilweise aufgehoben; ihre chemische Constitution schliesst die Folgen der Durchströmung zum grössten Theile noch ein: und aus den Resten der Verarmung und der chemischen Folgen der Durchströmung resultirt eine mehr oder weniger beträchtliche Abweichung des Widerstandes der Nervenstrecke von demjenigen Werthe, welchen er ohne die voraufgegangene Durchströmung zu derselben Zeit gehabt haben würde. Erfährt nun noch nach eben der Zeit der Widerstand der Nervenstrecke Veränderungen, so kann deren Ursache nur in den Oxydations- und elektrolytischen Processen des Nerven gelegen sein, und diese müssen fortan in der That bis zu ihren natürlichen Grenzen in gleicher Weise, wie wenn die Nervenstrecke nicht durchströmt gewesen wäre, ablaufen. Wenn die erste der beiden vorhin hingestellten Möglichkeiten in Wirklichkeit statthat, wird dann auch von der angegebenen Zeit an die Curve der Widerstandsveränderungen mit der Zeit bei der vorher durchströmten Nervenstrecke in ihrem Verlaufe von der entsprechenden Curve bei der nicht durchströmten Nervenstrecke nicht wesentlich abweichen dürfen, wird von jener Zeit an ein mehr oder minder grosses Endstück der vom § 5 (2 u. 3) her uns bekannten Curve der Widerstandsveränderungen mit der Zeit auch bei der vorher durchströmten Nervenstrecke zur Beobachtung kommen müssen. Entspricht hingegen die letztere Möglichkeit der Wahrheit und sind — von einer solchen Gunst der Verhältnisse sehen wir uns noch abhängig — mehr Ionen bei der Durchströmung abgeschieden worden, als während der Durchströmung selbst und während der gleichen Zeit nach der Durchströmung für die Vernichtung des immer neu auftretenden dem festen Aggregatzustande sich nähernden Oxydationsproductes verbraucht worden sind, so werden die Widerstandsveränderungen der vorher durchströmten Nervenstrecke mit der Zeit von den entsprechenden Widerstandsveränderungen der nicht durchströmten Nervenstrecke wesentlich in der Weise abweichen müssen, dass die ersteren von der angegebenen Zeit an stets zunächst in einer beträchtlicheren Abnahme und danach in einer geringeren Zunahme des Widerstandes bestehen werden. Und da alsdann immer mehr Ionen während der Durchströmung überschüssig werden aufgehäuft sein, je grösser die Intensität und die Dauer des die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes waren, so dass immer mehr von dem dem festen Aggregatzustande sich nähernden Oxydationsproducte nach seinem Auftreten wird vernichtet werden können, wird weiter auch jene Abnahme des Widerstandes desto länger andauern und im Ganzen desto grösser sein müssen, die der

Abnahme nachfolgende Zunahme des Widerstandes aber desto kürzer andauern und im Ganzen desto kleiner sein müssen, je grösser die Intensität und die Dauer des die Nervenstrecke vorher durchsetzenden Stromes waren.

Wir haben also die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke mit der Zeit nach voraufgegangener Durchströmung zu untersuchen, und dafür haben wir unsere oben in (1) mittelst der Versuchsanordnung Fig. 1. angestellten Versuche im Wesentlichen nur derart zu modificiren, dass wir die Kette mehrmals wiederschliessen, wenn die Dauer der Oeffnung der Kette die Dauer ihrer ersten Schliessung verschieden lange übertrifft. Um aber auch Ströme grösserer Intensität auf den Nerven einwirken zu lassen, entfernen wir bei einem Theile der Versuche durch eine geeignete Schaltung die Zuleitungsröhren und die Nervenstrecke zeitweilig aus unserer Versuchsanordnung Fig. 1. und bringen sie in den Schliessungskreis einer anderen Kette für die Durchströmung. Wir halten bei den neuen Wiederschliessungen in der Regel die Kette *K* jedes Mal nur wenige Secunden geschlossen, bis wir den Schieber *S* richtig eingestellt haben, und wechseln in diesem Falle von einer Widerstandsbestimmung zur anderen mit der Richtung des prüfenden Stromes ab (vgl. o. S. 238.); manchmal aber halten wir auch die Kette *K* bei unveränderter Stromrichtung jedes Mal längere Zeit geschlossen, um neue Ionen zu den bereits vorhandenen Ionen sich hinzufügen zu lassen: im letzteren Falle können die Widerstandsveränderungen bei der Durchströmung auf Grund ihrer bekannten Abhängigkeit vom (anfänglichen) specifischen Widerstande der Nervenflüssigkeit [s. o. § 4, § 5 (1) und § 6 (2)] zugleich noch zur Sicherung dessen dienen, was die ersten Widerstandsbestimmungen allein ergeben.

Das, worauf es uns zunächst ankommt, tritt sofort in deutlicher Ausprägung hervor, wenn wir eine 8—10^{mm} lange Strecke eines frischen Nerven von mittlerer Lebensfähigkeit — zwischen unseren gewöhnlichen oder mit noch etwas stumpferen Kanten versehenen Thonspitzen — während einer Stunde von dem vollen Strome eines Daniell's durchflossen sein lassen und von einer Stunde nach der Oeffnung der Kette an in Zwischenräumen von $^1/_2$, 1 oder mehr Stunden durch momentane Schliessungen den Widerstand der Nervenstrecke bestimmen. Ohne die anfängliche Durchströmung wäre bei dieser Nervenstrecke, wie man vom § 5 (2 u. 3) her sich erinnert, entweder gar keine oder doch jedenfalls nur eine unbedeutende erste Abnahme des Widerstandes mit der Zeit eingetreten, und sie würde auch im Verhältniss zur nachfolgenden Zunahme des Widerstandes mit der Zeit rasch vorübergegangen sein. Jetzt — an der vorher durchströmten Nervenstrecke — tritt eine recht beträchtliche und über eine grössere Anzahl Stunden ausgedehnte erste Abnahme des Widerstandes mit der Zeit ein,

und dafür ist die dieser Abnahme nachfolgende Zunahme des Widerstandes an Grösse wie an Dauer beträchtlich verkleinert. Und verbinden wir mit jeder Widerstandsbestimmung eine kurze Durchströmung der Nervenstrecke, so entsprechen auf Grund unserer früheren Erfahrungen die Abweichungen der Widerstandsveränderungen bei der Durchströmung, welche an der vorher durchströmten Nervenstrecke der nicht durchströmten gegenüber zur Beobachtung kommen, ganz den Abweichungen, welche die Widerstandsbestimmungen ergeben haben. Bei der ersten Wiederschliessung nach der Durchströmung nimmt, wie wir schon in (1) gesehen haben, der Widerstand von vornherein mit abnehmender Geschwindigkeit zu, bei einer späteren Wiederschliessung erfolgt die Zunahme des Widerstandes mit anfangs zunehmender und später abnehmender Geschwindigkeit, bei einer weiteren Wiederschliessung nimmt der Widerstand zuerst mit abnehmender Geschwindigkeit ab und erst danach zu, bei den nächsten Wiederschliessungen wird die anfängliche Abnahme des Widerstandes bei der Durchströmung immer beträchtlicher und von längerer Dauer; endlich wenn viele Stunden seit der ersten Durchströmung durchflossen sind, fangen die Widerstandsveränderungen bei der Durchströmung in ihren Abweichungen von einer Wiederschliessung zur anderen genau denselben Gang rückwärts zu nehmen an, welchen wir eben vorwärts verfolgt haben. Die Steilheit der Widerstandszunahme bei der Durchströmung nimmt dabei im Ganzen zuerst sehr beträchtlich ab, bis der (anfängliche) Widerstand der Nervenstrecke sein Minimum erreicht hat, darauf aber wieder zu, bis sie der entsprechenden Steilheit bei der ersten Schliessung der Kette ohngefähr gleichkommt oder die letztere höchstens ein wenig übertrifft, und endlich, wenn der (anfängliche) Widerstand zum zweiten Male abnimmt, gleichfalls zum zweiten Male ab. Bei der vorher nicht durchströmten Nervenstrecke fällt die erste Abnahme der Steilheit der Widerstandszunahme bei der Durchströmung entweder ganz fort oder ist jedenfalls viel geringer, und entweder gar nicht oder doch nur spurweise tritt vor der Zunahme des Widerstandes bei der Durchströmung eine Abnahme des Widerstandes auf; dagegen nimmt, wenn der Widerstand der Nervenstrecke nach seiner Abnahme mit der Zeit wieder zunimmt, die Steilheit der Widerstandszunahme bei der Durchströmung hier viel beträchtlicher als vorhin zu und übertrifft zur Zeit, wo der (anfängliche) Widerstand sein Maximum erreicht hat, die Steilheit der Widerstandszunahme bei der ersten Schliessung der Kette sehr bedeutend.

Hat die Durchströmung der frischen Nervenstrecke länger als eine Stunde angedauert, so tritt die angegebene Modification der Widerstandsveränderungen mit der Zeit nur noch schärfer hervor; und bei etwa zweistündiger Durchströmung nimmt der Widerstand der Nervenstrecke mit

der Zeit zunächst sehr beträchtlich und sehr lange ab und wächst darauf nur wenig an, so dass das Maximum des Widerstandes bei der vorher durchströmten Nervenstrecke auffallend nachsteht dem bei der nicht durchströmten Nervenstrecke, — obwohl es doch, in Folge der nur unvollkommenen Zurückbildung der durch den Strom gesetzten Veränderungen, bei der ersteren Nervenstrecke gerade wesentlich grösser hätte sein müssen als bei der letzteren Nervenstrecke. In entsprechender Weise wird der Erfolg der einstündigen Durchströmung erhöht, wenn mit jeder oder wenigstens mehreren der nachfolgenden Widerstandsbestimmungen eine längere Durchströmung verbunden ist. Dagegen ist die Modification der Widerstandsveränderungen mit der Zeit weniger ausgesprochen, wenn weniger lange als eine Stunde die anfängliche Durchströmung der Nervenstrecke gedauert hatte, und bei nur 5—10 Minuten langer Durchströmung gar nicht zu constatiren. Man braucht aber wiederum nur die 5—10 Min. lange Durchströmung mit gleich langen dazwischen fallenden Oeffnungen der Kette häufig (etwa 2—3 Stunden lang) zu wiederholen, um, wenn man später die Widerstandsveränderungen mit der Zeit durch momentane Schliessungen verfolgt, dieselben ebenso modificirt zu finden wie nach der zuerst betrachteten einstündigen Durchströmung.

Waren 1—4 Daniell's in der ungespaltenen Strecke des Stromnetzes für die Durchströmung, so ist die Modification der Widerstandsveränderungen mit der Zeit weniger ausgesprochen, doch bei der einstündigen Durchströmung immer noch deutlich; bei 1 Daniell und halbstündiger Durchströmung ist sie selten mit Sicherheit zu constatiren. Umgekehrt tritt, wenn man bei directer Einschaltung der Nervenstrecke in den Schliessungskreis von 2—4 Daniell's oder Grove's deren vollen Strom durch die Nervenstrecke hat fliessen lassen, jene Modification intensiver als in dem zuletzt betrachteten Falle auf. Und überhaupt laufen die Beobachtungen, welche man bei der angezeigten Variirung der Stromstärke macht, darauf hinaus, dass im Allgemeinen die grössere Stromintensität bei kürzerer Dauer der Durchströmung von demselben Erfolge ist, wie die kleinere Stromintensität bei längerer Dauer der Durchströmung.

Bei lebensfähigeren Nerven stellt sich unter möglichst gleichen Umständen die Modification der Widerstandsveränderungen mit der Zeit im Allgemeinen grösser heraus als bei weniger lebensfähigen Nerven. Doch bleibt sie auch bei sehr wenig lebensfähigen Nerven nicht aus; sie ist hier nur um so weniger auffallend, als schon ohne die Durchströmung an diesen Nerven eine beträchtlichere (erste) Abnahme des Widerstandes mit der Zeit auftritt [s. o. § 5 (2 u. 3)].

Den zuverlässigsten Aufschluss gewähren natürlich vergleichende Versuche an den beiden Nerven desselben Thieres. Man richtet dazu vier

gleiche Zuleitungsröhren her und schaltet zwischen ihnen und dem Stromwender *B* (s. Fig. 1.) einen Stromwender mit ausgenommenem Kreuze passend ein, so dass nach Belieben das eine oder das andere Paar der Zuleitungsröhren in den Versuchskreis aufgenommen werden kann. Alsdann lagert man den Zuleitungsröhren, ganz wie zu den Oppositions-Vorversuchen (S. 163.), die beiden Nerven desselben Frosches auf, bestimmt den Widerstand der beiden Nervenstrecken und lässt darauf nur die eine Nervenstrecke eine Zeit lang durchströmt werden; nach Beendigung der Durchströmung werden die Widerstandsveränderungen beider Nervenstrecken mit der Zeit in gewohnter Weise verfolgt. Unsere bereits anderweitig gewonnenen Erfahrungen finden jetzt ihre eclatanteste Bestätigung.

(Ueber die Form, in welcher die Vers. 115—118. hier mitgetheilt sind, vgl. die Bemerkungen oben S. 206—7.)

Versuch 115.

Mittelgrosse Rana esc.

$T = 9m.$

Rechter Ischiad.				Linker Ischiad.			
8 *m*.		696.	11⅛ °R.	5 *m*.		700.	11⅛ °R.
				Von 10 *m*. bis 1 *h*. 14 *m*. wird die Nervenstrecke (nach Ausschaltung aus der Versuchsanordnung Fig. 1.) vom vollen Strome eines Daniell's durchströmt.			
1 *h*.	20 *m*.	705.	11 °R.	1 *h*.	17 *m*.	808.	11 °R.
1 *h*.	53 *m*.	697.	» »	1 *h*.	56 *m*.	778.	» »
2 *h*.	28 *m*.	696.	10¾ »	2 *h*.	24 *m*.	765.	10¾ »
3 *h*.	20 *m*.	687.	10⅔ »	3 *h*.	23 *m*.	742.	10⅔ »
6 *h*.	43 *m*.	687.	10½ »	6 *h*.	40 *m*.	710.	10½ »
14 *h*.	19 *m*.	740.	10¼ »	14 *h*.	22 *m*.	743.	10¼ »
22 *h*.	24 *m*.	789.	9⅞ »	22 *h*.	21 *m*.	805.	9⅞ »
24 *h*.	7 *m*.	790.	» »	24 *h*.	10 *m*.	801.	» »
27 *h*.	11 *m*.	785.	10 »	27 *h*.	8 *m*.	798.	10 »
31 *h*.	49 *m*.	766.	10¼ »	31 *h*.	52 *m*.	791.	10¼ »
39 *h*.	27 *m*.	753.	10⅖ »	39 *h*.	24 *m*.	780.	10⅖ »

Die Nerven waren von den Muskeln getrennt. Bei beiden Nerven: $ab = 8^{mm}$; $al = 12^{mm}$; $bo = 6^{mm}$; $br = 36^{mm}$.

Versuch 116.

Mittelgrosse Rana esc.

$T = 8\ m.$

Rechter Ischiad. 3 *m.* 730. 10½ °R.

Linker Ischiad. 5 *m.* 726. 10½ °R.
Von 6 *m.* bis 1 *h.* 36 *m.* wird die Nervenstrecke vom vollen Strome eines Daniell's durchströmt.

Rechter Ischiad.				Linker Ischiad.			
1 *h.*	40 *m.*	790.	10½ ° R.	1 *h.*	38 *m.*	836.	10½ ° R.
2 *h.*	35 *m.*	790.	» »	2 *h.*	37 *m.*	791.	» »
3 *h.*	37 *m.*	784.	» »	3 *h.*	35 *m.*	781.	» »
4 *h.*	39 *m.*	784.	10⅔ »	4 *h.*	41 *m.*	773.	10⅔ »
8 *h.*	11 *m.*	800.	» »	8 *h.*	9 *m.*	766.	» »
9 *h.*	43 *m.*	815.	10¾ »	9 *h.*	45 *m.*	765.	10¾ »
11 *h.*	57 *m.*	843.	11 »	11 *h.*	55 *m.*	783.	11 »
13 *h.*	56 *m.*	870.	» »	13 *h.*	58 *m.*	792.	» »
16 *h.*	46 *m.*	902.	» »	16 *h.*	44 *m.*	800.	» »
22 *h.*	46 *m.*	916.	10 »	22 *h.*	48 *m.*	795.	10 »
24 *h.*	48 *m.*	930.	» »	24 *h.*	46 *m.*	799.	» »
26 *h.*	45 *m.*	938.	10¼ »	26 *h.*	47 *m.*	802.	10¼ »
28 *h.*	47 *m.*	941.	10½ »	28 *h.*	45 *m.*	803.	10½ »
30 *h.*	46 *m.*	945.	» »	30 *h.*	49 *m.*	800.	» »
34 *h.*	48 *m.*	945.	» »	34 *h.*	45 *m.*	794.	» »
37 *h.*	40 *m.*	940.	» »	37 *h.*	43 *m.*	781.	» »
47 *h.*	2 *m.*	936.	9⅔ »	47 *h.*	0 *m.*	781.	9⅔ »

Die Nerven waren von den Muskeln getrennt. Bei beiden Nerven: $ab = 10^{mm}$; $al = 8^{mm}$; $bo = 5^{mm}$; $br = 34^{mm}$.

Versuch 117.

Grosse Rana esc.

$T = 10\ m.$

Rechter Ischiad. 15 *m.* 650. 12⅚ °R.
Von 23 *m.* bis 50 *m.* wird die Nervenstrecke vom vollen Strome von 4 Grove's durchströmt.

Linker Ischiad. 18 *m.* 645. 12⅚ °R.

Rechter Ischiad.				Linker Ischiad.			
1 *h.*	19 *m.*	757.	12¾ ° R.	1 *h.*	21 *m.*	660.	12¾ ° R.
1 *h.*	52 *m.*	720.	» »	1 *h.*	50 *m.*	663.	» »
2 *h.*	50 *m.*	692.	12⅚ »	2 *h.*	52 *m.*	664.	12⅚ »
4 *h.*	0 *m.*	676.	12⅞ »	3 *h.*	58 *m.*	662,5.	12⅞ »
5 *h.*	25 *m.*	669.	» »	5 *h.*	28 *m.*	664.	» »

6 *h.*	42 *m.*	655.	$12^3/_4$ °R.	6 *h.*	40 *m.*	664.	$12^3/_4$ °R.
8 *h.*	8 *m.*	652.	$12^2/_3$ »	8 *h.*	10 *m.*	664.	$12^2/_3$ »
10 *h.*	7 *m.*	637.	13 »	10 *h.*	5 *m.*	662.	13 »
11 *h.*	42 *m.*	633.	» »	11 *h.*	44 *m.*	654.	» »
14 *h.*	3 *m.*	624.	» »	14 *h.*	1 *m.*	652.	» »
20 *h.*	47 *m.*	623,5.	$12^2/_5$ »	20 *h.*	49 *m.*	658.	$12^2/_5$ »
22 *h.*	52 *m.*	625.	$12^1/_2$ »	22 *h.*	50 *m.*	659.	$12^1/_2$ »
24 *h.*	30 *m.*	624.	$12^2/_3$ »	24 *h.*	32 *m.*	663.	$12^2/_3$ »
26 *h.*	24 *m.*	626.	» »	26 *h.*	22 *m.*	666.	» »
28 *h.*	40 *m.*	628.	» »	28 *h.*	42 *m.*	666.	» »
31 *h.*	28 *m.*	640.	$12^3/_4$ »	31 *h.*	26 *m.*	674.	$12^3/_4$ »
33 *h.*	27 *m.*	643.	13 »	33 *h.*	29 *m.*	682.	13 »
35 *h.*	43 *m.*	649.	» »	35 *h.*	41 *m.*	685.	» »
37 *h.*	55 *m.*	652,5.	» »	37 *h.*	57 *m.*	691.	» »
44 *h.*	52 *m.*	670.	$12^1/_3$ »	44 *h.*	50 *m.*	700.	$12^1/_3$ »
46 *h.*	50 *m.*	676.	$12^2/_5$ »	46 *h.*	52 *m.*	705.	$12^2/_5$ »
48 *h.*	59 *m.*	679.	$12^2/_3$ »	48 *h.*	57 *m.*	712.	$12^2/_3$ »
51 *h.*	2 *m.*	687.	$12^7/_8$ »	51 *h.*	4 *m.*	716.	$12^7/_8$ »
52 *h.*	45 *m.*	691.	» »	52 *h.*	42 *m.*	718.	» »
54 *h.*	52 *m.*	695.	$12^3/_4$ »	54 *h.*	54 *m.*	722.	$12^3/_4$ »

Die Nerven waren in unversehrter Verbindung mit den Unterschenkeln erhalten. Bei beiden Nerven: $ab = 10^{mm}$; $am = 12^{mm}$; $bo = 8^{mm}$; $bw = 38^{mm}$.

Versuch 118.

Mittelgrosse Rana esc.

$T = 10\,m.$

Rechter Ischiad.				Linker Ischiad.			
	7 *m.*	505.	$12^2/_3$ °R.		10 *m.*	560.	$12^2/_3$ °R.

Von 12 *m.* bis 1 *h.* 12 *m.* wird die Nervenstrecke vom vollen Strome von 4 Grove's durchströmt.

1 *h.*	17 *m.*	500.	$12^2/_5$ °R.	1 *h.*	15 *m.*	780.	$12^2/_5$ °R.
2 *h.*	12 *m.*	494.	$12^2/_3$ »	2 *h.*	14 *m.*	695.	$12^2/_3$ »
3 *h.*	16 *m.*	482.	$12^3/_4$ »	3 *h.*	14 *m.*	675.	$12^3/_4$ »
4 *h.*	14 *m.*	478.	$12^5/_6$ »	4 *h.*	16 *m.*	659.	$12^5/_6$ »
5 *h.*	24 *m.*	475,5.	$12^7/_8$ »	5 *h.*	22 *m.*	648.	$12^7/_8$ »
6 *h.*	30 *m.*	473,5.	$12^5/_6$ »	6 *h.*	33 *m.*	639.	$12^5/_6$ »
8 *h.*	37 *m.*	479.	$12^1/_3$ »	8 *h.*	34 *m.*	629.	$12^1/_3$ »
10 *h.*	54 *m.*	490.	$12^3/_5$ »	10 *h.*	56 *m.*	621.	$12^3/_5$ »
13 *h.*	2 *m.*	501.	$12^7/_8$ »	13 *h.*	0 *m.*	616,5.	$12^7/_8$ »

15 *h.*	5 *m.*	511.	$13^1/_6$ °R.	15 *h.*	7 *m.*	611.	$13^1/_6$ °R.
23 *h.*	4 *m.*	577.	13 »	23 *h.*	2 *m.*	616.	13 »
25 *h.*	10 *m.*	585.	» »	25 *h.*	12 *m.*	620.	» »
29 *h.*	19 *m.*	598.	$13^1/_4$ »	29 *h.*	17 *m.*	632.	$13^1/_4$ »
33 *h.*	58 *m.*	609.	$13^1/_2$ »	34 *h.*	1 *m.*	644,5.	$13^1/_2$ »
36 *h.*	30 *m.*	617.	$13^7/_8$ »	36 *h.*	27 *m.*	660.	$13^7/_8$ »
39 *h.*	55 *m.*	615.	$14^1/_8$ »	39 *h.*	57 *m.*	668.	$14^1/_8$ »
47 *h.*	15 *m.*	618.	$13^1/_5$ »	47 *h.*	13 *m.*	678.	$13^3/_8$ »
51 *h.*	30 *m.*	625.	$13^2/_3$ »	51 *h.*	32 *m.*	684	$13^2/_3$ »
55 *h.*	22 *m.*	632.	» »	55 *h.*	20 *m.*	688.	» »

Die Nerven waren von den Muskeln getrennt. Bei beiden Nerven: $ab = 9^{mm}$; $al = 12^{mm}$; $bo = 7^{mm}$; $br = 36^{mm}$.

Versuch 119.

(Fortsetzung von Vers. 19. S. 94.)

Versuchspause: 14 *h.* 3 *m.*

9 *h.* 6 *m.* *K* geschlossen. — Schieber auf 800.

Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 4° aus. Der Widerstand nimmt ab.

	7 *m.*	803.	
	8 *m.*	800.	
	10 *m.*	795.	
	14 *m.*	790.	
	22 *m.*	785.	Der Widerstand nimmt jetzt zu.
	39 *m.*	790.	
	49 *m.*	800.	
	59 *m.*	810.	
10 *h.*	$7^1/_2$ *m.*	820.	
	$18^1/_2$ *m.*	830.	
	30 *m.*	840.	
11 *h.*	37 *m.*	900.	
1 *h.*	9 *m.*	1000.	
5 *h.*	2 *m.*	1200.	
7 *h.*	14 *m.*	1253.	*K* geöffnet.

Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um 7° aus.

Versuchspause: 13 *h.* 37 *m.*

8 *h.* 51 *m.* *K* geschlossen. — Schieber auf 900.

Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 10° aus. Der Widerstand nimmt zu.

8 *h*.	52 *m*.	940.	
	54 *m*.	950.	
	56 *m*.	960.	
	58½ *m*.	970.	
9 *h*.	1 *m*.	980.	
	4 *m*.	990.	
	7 *m*.	1000.	
	10½ *m*.	1001.	
	14 *m*.	1002.	
	22 *m*.	1004.	
	38½ *m*.	1008.	
10 *h*.	0 *m*.	1012.	
	29½ *m*.	1016.	*K* geöffnet. Die Nadel schlägt, Strom von z nach z_1 anzeigend, um 12° aus.

Bei der ersten Schliessung (9 *h*. 6 *m*.) trat noch Muskelzuckung ein. Die Consistenz des Nerven jetzt vermehrt; die Muskeln todtenstarr.

Die Verhältnisse sind also in der That der erstrebten Entscheidung günstig, und es kann nach den eben gewonnenen Erfahrungen keinem Zweifel unterliegen, dass die Anionen oder Kationen der Nervenflüssigkeit das dem festen Aggregatzustande sich nähernde Oxydationsproduct vernichten, indem sie mit ihm zu einer besser leitenden und mehr flüssigen Substanz sich verbinden. Andere Erfahrungen, zu welchen bei den früher durchgeführten Untersuchungen vielfache Gelegenheit sich findet, bestätigen denn auch unser Ergebniss. So oft nämlich Nerven, deren Consistenz bereits vergrössert ist, dem Strome ausgesetzt werden, stellt sich eine Abnahme der Consistenz als Folge der Durchströmung heraus, so dass der Nerv von auffallend vergrösserter Consistenz nach einer 5—10 Min. langen Durchströmung höchstens noch eine deutlich vergrösserte Consistenz zeigt und der Nerv von deutlich vergrösserter Consistenz nach einer gleich langen Durchströmung gar keine merkliche Abweichung in seiner Consistenz von dem frischen Nerven mehr darbietet. Es ist dabei unmöglich, die Abnahme der Consistenz nur der durch die Durchströmung bedingten Beschleunigung der Veränderungen des Nerven mit der Zeit (s. u.) zuzuschreiben, weil, wenn die Consistenz des Nerven anfangs nur deutlich oder gar erst eben deutlich vermehrt war, nach der Durchströmung doch unter keiner Bedingung die Consistenz vergrössert, sondern immer verringert sich ergiebt. Ebensowenig geht es an, unsere zweite Wirkung der Wärme als die alleinige Ursache der Consistenzabnahme in Anspruch zu nehmen,

weil die letztere schon die Folge ganz schwacher Ströme ist, bei welchen die mit der Durchströmung verbundene Erwärmung des Nerven zu gering sein muss, als dass die zweite Wirkung der Wärme überhaupt eintreten sollte. Auch diesen Erfahrungen ist also zu entnehmen, dass die Elektrolyse oder genauer die Ionen der Nervenflüssigkeit das dem festen Aggregatzustande sich nähernde Oxydationsproduct vernichten.

Aber noch einen Schritt weiter führen uns dieselben Erfahrungen. In den Nerven nämlich, deren Consistenz auffallend vermehrt ist oder nach ihrer Zunahme bereits wieder abgenommen hat, ist die Substanz, welche den dem lebenden Nerven eigenthümlichen Oxydationsprocessen anheimfällt, völlig aufgebraucht, können dieser Substanz die Ionen der Nervenflüssigkeit nicht entspringen: trotzdem wird auch hier das dem festen Aggregatzustande sich nähernde Oxydationsproduct von den Ionen vernichtet. Es ist darum im höchsten Grade wahrscheinlich, dass auch im lebenden Nerven die die Ionen liefernde Substanz mit der der Oxydation unterliegenden Substanz nicht identisch ist.

Direct bewiesen würde das Nämliche sein, wenn gezeigt würde, dass durch die Durchströmung des Nerven der Tod desselben nicht mehr beschleunigt ist als durch die jedes Mal mit der Durchströmung verbundene Erwärmung des Nerven. Doch müssen wir auf diesen Beweis verzichten, und nur das Folgende haben wir anzumerken.

Es ist bekannt, dass beim Nerven der Verlust der Leistungsfähigkeit sowohl wie der elektromotorischen Eigenschaften durch seine Durchströmung beschleunigt wird[1]; und dem lässt sich nach unseren Untersuchungen hinzufügen, dass auch der Ablauf der chemischen Veränderungen des Nerven mit der Zeit durch die Durchströmung des Nerven eine Beschleunigung erfährt. Denn bei den oben S. 298. angeführten vergleichenden Versuchen findet man die Consistenz des vorher durchströmten Nerven nicht mehr merklich verschieden von der des frischen Nerven zu derselben Zeit, zu welcher die Consistenz des zweiten, nicht durchströmten Nerven gerade erst auffallend vermehrt ist; und bei den S. 304. erwähnten vergleichenden Widerstandsuntersuchungen sieht man, wenn ein stärkerer Strom längere Zeit die eine Nervenstrecke durchsetzt hatte, das (zweite) Maximum des Widerstandes an dieser Nervenstrecke in der Regel, wenn auch nicht viel, so doch deutlich früher eintreten als an der nicht vorher durchströmten Nervenstrecke. Bei den letzteren Versuchen stellen sich zugleich zwischen dem Verluste der Leistungsfähigkeit, dem Verschwinden des Nervenstromes und dem (zweiten) Maximum des Widerstandes im Wesentlichen die nämlichen zeitlichen Beziehungen, wie sie oben im

1) *E. du Bois-Reymond,* Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 46*; 296*.

§ 5 (5) für den nicht durchströmten Nerven sich ergeben haben, auch für den vorher durchströmten Nerven heraus; nur erlischt die Leistungsfähigkeit bei dem letzteren Nerven im Allgemeinen verhältnissmässig früher und öfters sogar viel früher vor dem Verschwinden des Nervenstromes und dem Eintritte des (zweiten) Maximums des Widerstandes, als bei dem ersteren Nerven. Es muss aber hervorgehoben werden, dass der Durchströmung eine so verderbliche d. h. den Tod beschleunigende Wirkung auf den Nerven nicht zukommt, wie man sie auf Grund gewisser Erfahrungen und Angaben[1] ihr zuzuschreiben gewohnt ist. Für die längere Dauer der Leistungsfähigkeit dürfen wir uns nicht blos auf die Erfahrungen bei unseren neuesten Versuchen, sondern auch auf die gelegentlichen Wahrnehmungen bei den Versuchen des § 1 (1 *b*) berufen: selbst wenn der volle Strom von 8—10 Grove's fast eine Stunde lang oder der volle Strom von 4 Grove's 1½ Stunden lang die 5—8^{mm} lange Nervenstrecke durchsetzt hatte, wurde bei der Oeffnung der Kette oder bei der Umkehrung der Stromrichtung häufig noch Muskelzuckung beobachtet. Und was den Nervenstrom betrifft, so ist er, wenn der volle Strom von 4 Grove's bis 2 Stunden lang die Nervenstrecke durchsetzt hatte, nachdem die innere Polarisation der Nervenstrecke allmählich sich verloren hatte, stets wieder zum Vorschein gekommen und um die Zeit des (zweiten) Maximums des Widerstandes regelmässig — nach Herstellung eines Querschnittes an der betrachteten Nervenstrecke (vgl. o. S. 279.) ausnahmslos — noch beobachtet worden. In Folge der Widerstandsveränderungen bei der Durchströmung hat bei den früheren Untersuchungen, wie weiter im Kap. V. und in den Abschn. III. und V. sich zeigen wird, der Tod des Nerven durch die Durchströmung mehr beschleunigt scheinen können, als er es in Wirklichkeit war.

Für die Verwerthung unserer Erfahrungen ist nun nicht zu übersehen, dass bei unseren vergleichenden Widerstandsuntersuchungen (S. 304.) nach der Durchströmung durch Diffusion die Oxydations- und elektrolytischen Producte aus der durchströmten Nervenstrecke über den ganzen Nerven sich haben verbreiten und dafür solche Substanz, wie sie für die dem lebenden Nerven eigenthümlichen Oxydationsprocesse erforderlich ist, aus den benachbarten Nervenstrecken in die durchströmte Nervenstrecke hat hineingelangen müssen, so dass die den Tod beschleunigende Wirkung der Durchströmung auf den ganzen Nerven sich vertheilt hat und für die durchströmte Nervenstrecke selbst entsprechend kleiner geworden ist. Man dürfte aber meinen, dass, wo der volle Strom von 8—10 Grove's fast eine

1) *E. du Bois-Reymond,* Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 296*; 335*. — *E. Pflüger,* Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus. S. 244*; 434*.

Stunde lang oder der volle Strom von 4 Grove's fast 2 Stunden lang die 5—8^{mm} lange Nervenstrecke durchflossen hatte, der Tod der Nervenstrecke noch vor der Oeffnung der Kette hätte eingetreten sein müssen, weil die Temperatur der Nervenstrecke, wenn sie auch nach ihrer anfänglichen Zunahme in Folge der Abnahme der Stromintensität rasch gesunken ist, doch anfangs eine Zeit lang sehr gross und im Ganzen während der Durchströmung unseren Erfahrungen im § 6 (4) gemäss ausreichend gross hätte sein müssen, den Tod der Nervenstrecke herbeizuführen. Indessen ist zu bedenken, dass in Folge der sehr häufigen Abscheidung der Ionen im Nerven die durch den Strom herbeigeführte Erwärmung des Nerven wesentlich kleiner wird sein müssen, als es nach den Erfahrungen über die Erwärmung der Flüssigkeiten durch den Strom und das Wachsen der Erwärmung mit dem Leitungswiderstande sonst anzunehmen nahe liegt. Wir müssen uns darum jedes bestimmten Urtheiles über das Verhältniss, in welchem die Beschleunigung der Veränderungen des Nerven mit der Zeit durch die Durchströmung zu der entsprechenden Beschleunigung durch die mit der Durchströmung verbundene Erwärmung allein steht, hier enthalten. Höchstens dürfte man es nach unseren Erfahrungen für wahrscheinlich erklären, dass die erstere Beschleunigung nicht grösser ist als die letztere; ganz voreilig aber wäre es, danach die erstere Beschleunigung als kleiner als die letztere anzunehmen, was zu wichtigen Folgerungen Anlass böte.

Beachtung verdient, dass wir bei dem vorher durchströmten Nerven wiederum auf die ohngefähre Coincidenz des (zweiten) Maximums des Widerstandes mit dem Verschwinden des Nervenstromes gestossen sind. Eine solche Coincidenz, wie sie nunmehr durchweg unter den verschiedensten Verhältnissen des Nerven sich uns ergeben hat, lässt nicht dem Zufalle sich zuschreiben, sondern muss in einer innigen Beziehung unseres den Widerstand vermehrenden Vorganges im Nerven und des Nervenstromes zu einander oder zu einem dritten Vorgange begründet sein. Nur von der Ueberlegung geleitet, dass der Nervenstrom nothwendig chemischen Processen im Nerven seine Existenz verdanken muss und andere primäre chemische Processe als Oxydationsprocesse nicht wohl im Nerven anzunehmen sind, haben wir oben im Eingange der Erörterungen, in welchen wir uns noch befinden, den Nervenstrom Oxydationsprocessen entspringen lassen. Seitdem haben wir durch das Studium des Einflusses, welchen die elektrolytischen Producte des Nerven auf dessen Widerstand ausüben, ermittelt, dass unser den Widerstand vermehrender Vorgang in der Aufhäufung eines Oxydationsproductes besteht; und indem die in Rede stehende Coincidenz nun nichts Anderes besagt, als dass mit dem Aufhören des Nervenstromes zugleich auch die Aufhäufung des Oxydationsproductes aufhört, ist durch

sie die Beziehung des Nervenstromes zu den Oxydationsprocessen, auf welche wir durch die Ueberlegung geführt worden sind, auch thatsächlich erwiesen.

Unser Ergebniss, dass die Anionen oder Kationen im Nerven mit dem dem festen Aggregatzustande sich nähernden Oxydationsproducte zu einer mehr flüssigen Substanz sich verbinden, überhebt uns der Annahme, dass in den Nerven des unversehrten lebenden Thieres aus dem Blute ein Körper gelangt, der zur Verflüssigung jenes Oxydationsproductes dient, — einer Annahme, die sonst unumgänglich gewesen wäre, weil das Oxydationsproduct aus dem Nerven des unversehrten lebenden Thieres durch das Blut entfernt werden muss und in unveränderter Form nicht entfernt werden kann. Nur deshalb könnte eine solche Annahme vielleicht noch jetzt nothwendig scheinen, weil es im absterbenden Nerven, trotzdem dass auch hier mit den Oxydationsprocessen die elektrolytischen Processe Hand in Hand gehen, doch zu einer Aufhäufung jenes Oxydationsproductes kommt, die Elektrolyse also zur Vernichtung des Oxydationsproductes nicht ausreicht. Indessen würde man dabei übersehen, dass die chemische Constitution der Nervenflüssigkeit, die im Nerven des unversehrten lebenden Thieres eine constante ist, im absterbenden Nerven Veränderungen erfährt. In Folge dessen könnte, wenn die Grösse der elektromotorischen Kräfte des Nerven nicht ausschliesslich von der Grösse der Oxydationsprocesse abhängig ist, das Verhältniss der ersteren Grösse zu der letzteren Grösse mit dem Absterben des Nerven eine solche Veränderung erfahren, dass im absterbenden Nerven die Menge der Ionen nicht mehr, wie im Nerven des unversehrten lebenden Thieres, zur völligen Vernichtung jenes Oxydationsproductes ausreichte. Oder es könnten die betreffenden Ionen im absterbenden Nerven noch eine anderweitige Verwendung finden und darum für die Vernichtung jenes Oxydationsproductes nur in geringerer Menge disponibel sein: sie könnten, wenn neben dem dem festen Aggregatzustande sich nähernden Oxydationsproducte, wie es wahrscheinlich ist, noch ein zweites Oxydationsproduct auftritt, etwa auch mit diesem letzteren, das im absterbenden Nerven nicht, wie im Nerven des unversehrten lebenden Thieres, durch das Blut fortgeschafft würde, sich verbinden. Wo solche und durchaus nicht fern liegende Möglichkeiten vorhanden sind, wäre es ganz ungerechtfertigt, die in Rede stehende Annahme zu machen. Es ist eine Function des Nervenstromes, das dem festen Aggregatzustande sich nähernde Oxydationsproduct zu vernichten, die Consistenzzunahme der Nervenflüssigkeit zu verhindern; und so lange nicht entschiedene Thatsachen dagegen sprechen, wird auch nichts Anderem als dem Nervenstrome eine solche Function zugeschrieben werden dürfen.

Die Gestalt der Widerstandscurve des Nerven, bezogen auf die Zeit

nach dem Tode des Thieres oder nach der Trennung des Nerven, steht in vielen Fällen in voller Uebereinstimmung mit unseren Ermittelungen. Denn wir haben bei allen wenig lebensfähigen Nerven und auch bei einer Anzahl sehr lebensfähiger Nerven (vgl. Vers. 83. u. 90.) den Widerstand zuerst mit abnehmender Geschwindigkeit kleiner werden und darauf mit anfangs zunehmender und später abnehmender Geschwindigkeit wachsen sehen: und dies entspricht ganz dem, dass einmal die im Nerven des unversehrten lebenden Thieres für die völlige Vernichtung des festeren Oxydationsproductes ausreichenden Ionen mit der Zeit nach dem Tode resp. nach der Trennung immer weniger ausreichend werden, und dass zweitens mit der allmählichen Abnahme des für die dem lebenden Nerven eigenthümlichen Oxydationsprocesse erforderlichen Materiales auch die in der Zeiteinheit auftretende Menge des festeren Oxydationsproductes abnimmt. Allein bei den meisten Nerven von grösserer Lebensfähigkeit haben wir den Widerstand von vornherein mit verzögerter Geschwindigkeit zunehmen und erst dann abnehmen oder gar danach sogleich mit beschleunigter Geschwindigkeit zunehmen sehen: so dass wir für den lebensfähigen Nerven gerade ein derartiges Verhalten des Widerstandes als normal hinstellen mussten. Es tritt damit noch die Aufgabe an uns heran, das hin und wieder unseren Ermittelungen nicht entsprechende anfängliche Verhalten des Widerstandes nach dem Tode des Thieres resp. nach der Trennung des Nerven zu erklären. Aber dieser Aufgabe sind wir zur Zeit noch nicht gewachsen, und wir können uns auch auf die ausgedehnten Untersuchungen, welche ihre Lösung erfordern würde, hier nicht einlassen. Wir geben uns damit zufrieden, in dem Umstande, dass nur manchmal der Widerstand von vornherein zunimmt und dass dann in vielen Fällen der anfänglichen Zunahme eine Abnahme des Widerstandes doch noch nachfolgt, in den anderen Fällen aber wenigstens die Geschwindigkeit der Zunahme erst bis zu einem Minimum verzögert ist, ehe sie eine beschleunigte wird, den Beweis zu finden, dass eine wesentliche Abweichung von unseren Ermittelungen nicht vorliegt; und es wird die Sache weiterer Untersuchungen sein, den die vorübergehende Abweichung veranlassenden Umstand zu erforschen, der in der Temperaturerhöhung des Nerven (s. o. S. 212.) sich vermuthen lässt, aber auch in der chemischen Constitution des Nerven gelegen sein kann. Nur folgende Bemerkungen wollen wir noch hinzufügen.

Wir haben es oben S. 212. durch die Temperaturerhöhung des Nerven in der ersten Zeit des Versuches erklärt, dass bei manchen an frischen wie an nicht frischen Nerven angestellten Versuchen des § 5 (2) der Widerstand des Nerven in der Zwischenzeit der ersten und der zweiten Bestimmung und nur in dieser Zeit abgenommen hat (vgl. Vers. 79., 80. u. 84.). Die

Erklärung ist aber unzulässig geworden, seitdem wir im § 6. gefunden haben, dass eine solche Temperaturerhöhung gerade ein Wachsen des Widerstandes zur Folge hat; überdies machen es die Erfahrungen, welche wir bei der Erwärmung des Nerven im § 6 (1) gesammelt haben, in hohem Grade unwahrscheinlich, dass die Temperatur des Nerven noch über die Zeit unserer ersten Bestimmung des Widerstandes hinaus sollte zugenommen haben. Wir müssen uns daher nach einer anderen Fehlerquelle für die Erklärung jener Abnahme umsehen, und eine solche findet sich nur in den Folgen der Durchströmung des Nerven. In der That hat bei den mit sehr stumpfen Thonspitzenkanten oder mit Benutzung einer Querschnittsfläche des Nerven angestellten Versuchen (vgl. S. 215.) jene Abnahme sich nicht gezeigt; und wie wir oben S. 213—4. die Bedeutungslosigkeit der Folgen der Durchströmung für die beobachteten Widerstandsveränderungen erschlossen haben, ist es nicht nur auf solche Specialitäten, wie jetzt eine in Frage steht, überhaupt nicht angekommen, sondern es hätte dabei aus sehr nahe liegenden Gründen gerade auf die allerersten Bestimmungen des Widerstandes kein besonderes Gewicht gelegt werden können. Die in Rede stehende Abnahme wird danach so zu erklären sein, dass in den betreffenden Versuchen bei der ersten Bestimmung des Widerstandes die Verarmung der Nervenstrecke durch die voraufgegangenen Prüfungen einen höheren Grad erreicht hatte, als, nachdem sie in der Zwischenzeit der ersten und der zweiten Bestimmung sich zurückgebildet hatte, bei der zweiten Bestimmung des Widerstandes: was nach unseren Erfahrungen über die Verarmung sehr wohl möglich ist. Alsdann muss aber auch daran gedacht werden, dass bei anderen, an frischen Nerven angestellten Versuchen der Widerstand der Nervenstrecke bei den ersten Bestimmungen vielleicht einzig und allein in Folge der von Bestimmung zu Bestimmung wachsenden Verarmung zugenommen hat (vgl. in erster Reihe Vers. 87., in zweiter Reihe Vers. 77. u. 78., in dritter Reihe Vers. 85.), so dass die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung die Widerstandsabnahme mit der Zeit uns verdeckt hat. Es ist darum höchstwahrscheinlich, dass bei weiteren und mit noch vollkommenerer Ausschliessung der Fehlerquellen angestellten Untersuchungen eine verhältnissmässig grössere Zahl von Versuchen, als bei unserer Untersuchung sich ergeben hat, in voller Uebereinstimmung mit unseren Ermittelungen sich finden wird.

Zum Schlusse wollen wir den Nerven unter den verschiedenen Verhältnissen, unter welchen er Gegenstand unserer Studien gewesen ist, der Reihe nach mustern, um, was wir in chemischer Beziehung von ihm aussagen können, im Zusammenhange zu übersehen.

Im Nerven des unversehrten lebenden Thieres haben Oxydations- und elektrolytische Processe statt. Die ersteren liefern, wahrscheinlich neben

einem besser leitenden Oxydationsproducte, ein dem festen Aggregatzustande sich näherndes Oxydationsproduct; dieses verbindet sich aber sogleich mit dem einen der den elektrolytischen Processen entsprungenen Ionen zu einer besser leitenden, mehr flüssigen Substanz. Sehen wir vom Gaswechsel des Nerven ab, so müssen demnach durch das Blut aus dem Nerven entfernt werden: die Verbindung des einen Ions mit dem festeren Oxydationsproducte, das zweite Ion und das wahrscheinlich noch auftretende besser leitende Oxydationsproduct; es müssen dagegen aus dem Blute in den Nerven aufgenommen werden die den Oxydationsprocessen anheimfallende und die die Ionen liefernde Substanz, welche beide höchstwahrscheinlich nicht identisch sind.

Im hungernden Thiere werden die verbrauchten Substanzen des Nerven nur unvollkommen durch das Blut wiederersetzt und nehmen dadurch die Oxydationsprocesse und mit ihnen die elektrolytischen Processe an Intensität ab. Dies ergiebt eine einfache Ueberlegung und wird auch durch die Erfahrung bestätigt, indem bei den Nerven ausgehungerter Thiere eine geringere Stärke des Nervenstromes und ein rascherer Tod der Nerven nach ihrer Isolirung beobachtet werden. Indem zweifellos ein Eiweisskörper aus dem Blute in den Nerven übergeht und in diesem der Oxydation unterliegt, erklärt sich auch der geringere Widerstand der Nerven ausgehungerter Thiere schon ausreichend durch den unvollkommenen Stoffersatz, und es bedarf nicht noch der Annahme, dass auch die Stoffabgabe jener Nerven an das Blut eine unvollkommene ist, die Oxydations- und elektrolytischen Producte in jenen Nerven sich aufhäufen. Lässt sich der Nerv des ausgehungerten Thieres als Prototyp des wenig lebensfähigen Nerven nehmen, so wächst die Lebensfähigkeit der Nerven mit ihrem Vorrathe an oxydabler Substanz.

Die Trennung des Nerven vom lebenden Thiere hat zunächst nur zur Folge, dass der Vorrath der vorher aus dem Blute aufgenommenen Substanzen abnimmt und die vorher durch das Blut entfernten Substanzen aufgehäuft werden. Früher oder später beginnt aber eine Aufhäufung des dem festen Aggregatzustande sich nähernden Oxydationsproductes, indem in Folge der veränderten chemischen Constitution des Nerven die betreffenden Ionen zur sofortigen völligen Vernichtung des Oxydationsproductes nicht mehr ausreichen. Alsdann treten auch die dem todten Nerven eigenthümlichen Oxydationsprocesse hinzu, die in der Oxydation des aufgehäuften dem festen Aggregatzustande sich nähernden Oxydationsproductes zu mehr flüssigen Substanzen bestehen. Endlich ist das für die dem lebenden Nerven eigenthümlichen Oxydationsprocesse erforderliche Material aufgebraucht, der Nerv ist dann todt, und nur noch die eben erwähnten Oxydationsprocesse haben in ihm statt.

Der nach dem Tode des Thieres in unversehrter Lage im Thiere verbliebene Nerv erfährt, bei im Wesentlichen gleichen inneren Vorgängen, im Wesentlichen dieselben Veränderungen seiner chemischen Constitution wie der vom lebenden Thiere getrennte Nerv, nur weniger rasch. Die Abweichung erklärt sich einfach dadurch, dass der in seiner natürlichen Lage verbliebene Nerv noch mit seiner Umgebung Stoffe austauschen kann, und ist um so leichter verständlich, als wegen der unbeträchtlichen Versorgung der Nerven mit eigenen Gefässen auch für den Nerven im unversehrten lebenden Thiere anzunehmen ist, dass er für seinen Stoffwechsel vorwiegend mittelbar mit dem Blute in Verbindung tritt, indem er hauptsächlich aus seiner Umgebung Stoffe aufnimmt und hauptsächlich an seine Umgebung Stoffe abgiebt. Der oben S. 226. als möglich hingestellten Erklärung finden wir auf dem vorgerückten Standpunkte, welchen wir jetzt einnehmen, den Boden ganz entzogen; und die Ursache der steileren Widerstandszunahme oder der rascheren Consistenzzunahme bei dem erst spät isolirten Nerven lässt nunmehr nur darin sich vermuthen, dass bei diesem Nerven das Absterben der einzelnen Nervenquerschnitte mehr gleichmässig und gleichzeitig als bei dem sogleich nach dem Tode des Thieres isolirten Nerven erfolgt.

Von der Temperatur, welcher der Nerv nach seiner Trennung vom lebenden Thiere ausgesetzt wird, ist, indem die Intensität der Oxydationsprocesse durch Wärmezufuhr zum Nerven gesteigert wird, die Geschwindigkeit abhängig, mit welcher die Veränderungen der chemischen Constitution des Nerven ablaufen: sie ist am geringsten und nicht merklich verschieden bei den Temperaturen von 0 bis 14° C. und nimmt dann mit wachsender Temperatur rasch zu. Wenn die Temperatur 24° C. übersteigt und nicht blos eine kurze Zeit hindurch der Nerv in ihr sich befindet, erfahren aber die sonstigen Veränderungen der chemischen Constitution des Nerven ausserdem noch eine Modification der Art, dass das dem festen Aggregatzustande sich nähernde Oxydationsproduct nur in geringerer Menge sich aufhäuft oder es gar zu einer irgend beträchtlichen solchen Aufhäufung überhaupt nicht kommt. Ob die sonst der Oxydation unterliegende Substanz dann ganz andere chemische Veränderungen erfährt, so dass jenes Oxydationsproduct gar nicht erst entsteht, oder ob nur das wie sonst auftretende Oxydationsproduct dann über das gewöhnliche Mass hinaus sogleich vernichtet wird, muss dahingestellt bleiben; im letzteren Falle könnte wohl die Elektrolyse, ausser mittelbar durch die Oxydationsprocesse, auch noch unmittelbar durch die Temperaturerhöhung gesteigert sein oder ein verfrühter Eintritt der dem todten Nerven eigenthümlichen Oxydationsprocesse durch die Temperaturerhöhung bedingt sein. Im Nerven des unversehrten lebenden Thieres werden, wenn die

Körpertemperatur des Thieres innerhalb der normalen — beim Frosche ja verhältnissmässig weiten — Grenzen schwankt, die Oxydations- und elektrolytischen Processe und mit ihnen der Stoffwechsel im Nerven mit der Zunahme der Temperatur gesteigert sein, die chemische Constitution des Nerven aber wird immer dieselbe sein; diejenigen Körpertemperaturen, bei welchen nach den Erfahrungen am isolirten Nerven Veränderungen der chemischen Constitution des Nerven im unversehrten lebenden Thiere angenommen werden müssten, sind mit dem Leben des Thieres überhaupt nicht verträglich.

Wird endlich der Nerv nach seiner Trennung vom lebenden Thiere durchströmt, so laufen die sonstigen Veränderungen der chemischen Constitution des Nerven durch die Temperaturerhöhung beschleunigt ab und durch die Elektrolyse in der Weise modificirt, dass es, weil nunmehr die Menge der Ionen für die völlige Vernichtung des dem festen Aggregatzustande sich nähernden Oxydationsproductes mehr als sonst ausreichend ist, zu einer Aufhäufung dieses Productes entweder gar nicht oder doch nur in geringerem Grade als sonst kommt und dafür eine grössere Menge der Verbindung des einen Ions mit dem festeren Oxydationsproducte, wie auch des zweiten Ions im Nerven sich aufhäuft. Uebersteigt aber die Stromintensität eine gewisse und zwar, weil die durch den Strom bedingte Erwärmung des Nerven in Folge der häufigen Abscheidung der Ionen verhältnissmässig nur klein sein wird (s. o. S. 311.), sicherlich schon beträchtlichere Grösse, so tritt die vorhin erwähnte Modification, welche die höheren Wärmegrade in den Veränderungen der chemischen Constitution des Nerven herbeiführen, noch hinzu. Hat das dem festen Aggregatzustande sich nähernde Oxydationsproduct schon vor der Durchströmung im Nerven sich aufgehäuft, so wird es von den durch den Strom gelieferten Ionen mehr oder weniger vernichtet.

Das Fragmentarische der gewonnenen Einsicht tritt in der vorliegenden Uebersicht zu deutlich hervor, als dass noch besonders darauf aufmerksam zu machen wäre. Vornehmlich fühlbar ist jedoch für uns zunächst nur der Mangel, dass die zweite Wirkung der Wärme nicht genauer erkannt ist; und die Anhaltspunkte, welche unsere Untersuchungen am Widerstande bieten, sind hier, weil die mehr centralen und die mehr peripherischen Schichten des Nerven bei unseren Versuchen ungleich erwärmt waren, nicht zuverlässig genug, als dass eine genauere Abwägung der verschiedenen Möglichkeiten gegen einander lohnend wäre. Von den zahlreichen anderen Fragen, welche an unsere Uebersicht sich knüpfen und von welchen ein Theil für die Beantwortung sogar nur unsere bisherigen Hülfsmittel in Anspruch nimmt, werden wir später einige aufzunehmen haben. Jetzt eilen wir, unser Studium der Abhängigkeiten der durch den Strom gesetz-

ten Widerstandsveränderungen, welches wir, durch andere Fragen bedrängt, in der letzten Zeit fast aus den Augen verloren haben, zu Ende zu führen.

§ 8. Von dem Einflusse der Richtung des Stromes im Nerven.

(1.) Von der queren und schrägen Durchströmung des Nerven.

Der in der Längs- und Querrichtung abweichende Bau des Nerven lässt vermuthen, dass es auf die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke von wesentlichem Einflusse ist, wenn die Richtung des Stromes im Nerven nicht, wie bisher überall, der Längsaxe des Nerven parallel ist, sondern einen spitzen bis rechten Winkel mit derselben bildet. Dieser Vermuthung wollen wir jetzt nachgehen; und wenn wir damit auch für den Augenblick die Aufgabe dieses, die allgemeine Untersuchung des Kap. II. gewissermassen nur specialisirenden Kapitels zu überschreiten scheinen, so wird es doch später sich zeigen, dass wir die Untersuchung am rechten Orte unternommen haben.

Um die etwaigen Abweichungen von den Erfahrungen des Kap. II. sofort in der ausgeprägtesten Form uns vorzuführen, beginnen wir mit der queren, auf die Längsaxe senkrechten Durchströmung des Nerven.

Für die Erledigung anderer Fragen hat man schon mehrfach den Nerven quer durchströmt sein lassen und dabei verschiedene Methoden in Anwendung gezogen[1]. Als die beste unter ihnen hat sich aber gerade die älteste, von *Galvani* angewandte Methode herausgestellt, bei welcher der Nerv senkrecht über einen durchströmten feuchten Faden gespannt ist; und mit dieser Methode haben in der neueren Zeit *E. du Bois-Reymond* und *Pflüger* ihre die quere Durchströmung des Nerven betreffenden Versuche angestellt[2].

Es liegt am nächsten, mit derselben Methode unsere Untersuchung auszuführen. Wir stellen dazu zunächst unsere Versuchsanordnung Fig. 1. her, gerade als ob wir die Versuche des § 1 (2) des Kap. II. zu wiederholen vorhätten. Wir kitten ferner zwei verquickte Zinkplatten mit angelötheten Kupferdrähten, welche zu einer zweiten Kette oder Säule gehen, zwei auf besonderen Stativen befindlichen Glasplatten auf, legen auf die Zinkplatten Fliesspapierbäusche, welche mit concentrirter Zinkvitriollösung getränkt sind, und verbinden die Bäusche durch einen mit Hühnereiweiss wohlgetränkten Zwirnsfaden, dessen Enden wir auf den Bäuschen mit

1) Vgl. *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 297—9*; Bd. II. Abth. I. S. 355—6*.

2) *Ders.*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 357—9*; 462*. — *Pflüger*, a. a. O. S. 179*; 283*; 410*.

Nadeln befestigen. Die ganze letztere Vorrichtung stellen wir alsdann so auf, dass die Mitte der die Zuleitungsröhren überbrückenden Nervenstrecke in Berührung mit dem feuchten Faden kommt und die Längsaxe der Nervenstrecke den gespannten Faden unter rechtem Winkel schneidet. Ist Alles hergerichtet, bestimmen wir, bevor noch die zweite Kette geschlossen wird, durch momentane Schliessungen in Zwischenräumen von 5 resp. 10 oder 15 Minuten den Widerstand der Nervenstrecke, lassen darauf in der Zwischenzeit zweier Bestimmungen durch Schliessung der zweiten Kette deren Strom den Faden und quer den Nerven durchsetzen und fahren nach Oeffnung der zweiten Kette in unseren Widerstandsbestimmungen wie vorher fort. Es ergiebt sich dabei weder eine regelmässige noch eine beträchtliche Abweichung der Widerstandsveränderungen mit der Zeit durch die quere Durchströmung des Nerven bedingt. Nur hin und wieder zeigt sich der Widerstand bei der ersten Bestimmung nach der queren Durchströmung etwas mehr oder weniger vergrössert, als es die voraufgegangenen und die folgenden Bestimmungen erwarten liessen, bietet die Curve der Widerstandsveränderungen mit der Zeit an der betreffenden Stelle eine Knickung von der Abscissenaxe ab oder nach der Abscissenaxe hin dar. Danach kann, da unsere der Oeffnung der zweiten Kette sogleich nachfolgende Widerstandsbestimmung die durch die quere Durchströmung in der Nervenstrecke herbeigeführten Veränderungen nur wenig erst zurückgebildet, fast noch auf der Höhe ihrer Ausbildung hat antreffen müssen, der Widerstand der quer durchströmten Nervenstrecke gar nicht oder jedenfalls nur wenig unter dem Einflusse des Stromes gewachsen sein; und wir werden zu dem Schlusse geführt, dass im Falle querer Durchströmung des Nerven eine stellenweise Verarmung der durchströmten Nervenstrecke an Flüssigkeit entweder überhaupt nicht oder doch nur in sehr geringem Grade eintritt.

Allein das für die quere Durchströmung des Nerven eben benutzte Verfahren ist ein sehr unvollkommenes. Selbst wenn eine mehrgliederige Grove'sche Säule im Kreise des Fadens sich befindet, ist wegen des grossen Widerstandes des Fadens der diesen durchfliessende Strom von nur geringer Intensität, von dem schwachen Strome durchsetzt dann nur ein Zweigstrom den Nerven, und indem überdies die Stromeintritts- und die Stromaustrittsstelle am Nerven da, wo der Nerv den Faden berührt, unmittelbar neben einander liegen, lässt sich nach den allgemeinen Gesetzen der Stromleitung höchstens die dem Faden nächste Nervenschicht von einem der Rede werthen Strome durchflossen annehmen. Dazu kommen noch bei unseren Versuchen die für die Constatirung der durch die quere Durchströmung bedingten Widerstandsveränderungen höchst ungünstigen Umstände, dass einmal der Querschnitt der quer durchströmten Nervenstrecke

durch den Faden und die Bäusche vergrössert ist und sodann auch die quer durchströmte Nervenstrecke nur einen Bruchtheil der die Zuleitungsröhren überbrückenden Nervenstrecke ausmacht. Es müssen deshalb Zweifel an der Beweiskraft unserer Versuche rege werden, und weitere, mit einer besseren Methode unternommene Versuche zeigen denn auch, dass auf jene ersten Versuche Nichts zu geben ist.

Wir behalten für die neuen Versuche unsere Versuchsanordnung Fig. 1. bei, formen aber an unseren beiden Zuleitungsröhren die vorderen Kanten der Thonspitzen, welche bisher immer geradlinig waren, stark convex (s. den schematischen Durchschnitt Fig. 19.) und stellen die Zuleitungsröhren auf zwei Stativen einander gegenüber so auf, dass die einander nächsten Punkte der vorderen Thonspitzenkanten gerade nur einen der Dicke des Nerven entsprechenden Zwischenraum zwischen sich frei lassen. Diesen Zwischenraum füllen wir alsdann mit dem Nerven so aus, dass die Längsaxe des Nerven genau senkrecht auf der Verbindungslinie der beiden am weitesten vorspringenden Punkte der Thonspitzenkanten steht; der in unversehrter Verbindung mit dem Nerven erhaltene Unterschenkel liegt dabei auf dem allgemeinen Träger, und indem wir das Wirbelende des Nerven auf einem in passender Höhe angebrachten Korkstücke befestigen, spannen wir den Nerven bald mehr bald weniger an. Die Breite der Thonspitzenkanten nehmen wir zuerst sehr gering, um die Bedingung der queren Durchströmung des Nerven auf das Genaueste erfüllen zu können; bei weiteren Versuchen aber nehmen wir auch nur die eine Thonspitzenkante scharf und die andere Kante stumpf oder gar sehr stumpf. Im Uebrigen verfahren wir ganz wie bei den Versuchen des § 1 (2) des Kap. II., so dass wir mit Hülfe des den Nerven quer durchsetzenden Stromes zugleich die durch den Strom gesetzten Widerstandsveränderungen verfolgen.

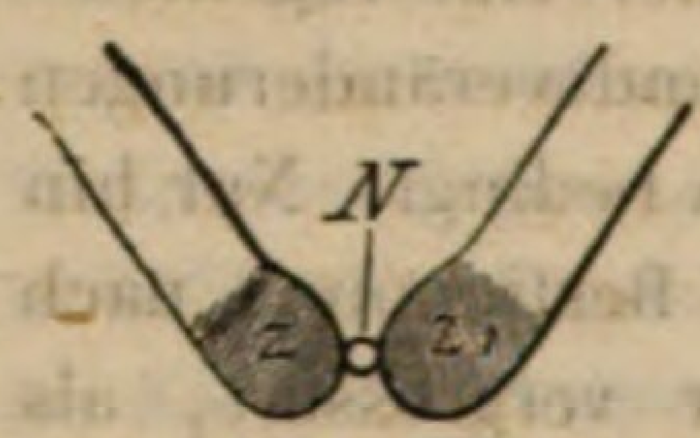


Fig. 19.

Hier kommen nun im Allgemeinen dieselben Widerstandsveränderungen zur Beobachtung wie früher, als die Richtung des Stromes der Längsaxe des Nerven parallel war[1]. Auch wenn wir die Stromrichtung während der Durchströmung umkehren, und nach der Durchströmung stellen sich keine Abweichungen von unseren früheren Erfahrungen heraus. Ja sogar die Abhängigkeit der Widerstandsveränderungen von der Stromintensität, von der Grösse der Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der posi-

1) Weil unsere Versuchsbeispiele des Kap. II. die intrapolare Nervenstrecke immer mehrere Mm. lang zeigen, ist es vielleicht nicht überflüssig anzumerken, dass die Versuche des Kap. II. die aufgeführten Ergebnisse auch dann geliefert haben, wenn die Länge der durchströmten Nervenstrecke nur 1^{mm} oder noch weniger betragen hat.

tiven Zuleitungsröhre, von der Lebensfähigkeit des Nerven und von der Zeit nach der Trennung des Nerven tritt ebenso wie früher hervor. Endlich ergiebt die Besichtigung des Nerven, dass auch die Gestaltsveränderungen des Nerven in Folge der Durchströmung hier nicht ausbleiben: sie sind nur natürlich der neuen Richtung der Durchströmung gemäss modificirt, und es ist besonders bemerkenswerth, dass, auch wenn die Breite der Thonspitzenkante nur etwa $^1/_4{}^{mm}$ beträgt, der Nerv zu den Seiten der Stromeintrittsstelle auf je 1—2^{mm} Länge deutlich verengt erscheint; ist der Nerv an mehreren Stellen nach einander quer durchströmt und ist jedes Mal während der Durchströmung die Stromrichtung umgekehrt worden, so bietet der Nerv mit seinen Einschnürungen ein dickdarmähnliches Ansehen dar. Was wir für die der Längsaxe parallele Durchströmung des Nerven ermittelt haben, gilt daher auch für die quere Durchströmung des Nerven, und es ist nur eine durch die Unvollkommenheit der Methode bedingte Täuschung gewesen, wenn es nach den Ergebnissen unserer ersten Versuche anders zu sein schien.

Versuch 120.

Wd: Capillarröhren II. und III. neben einander — *K*: 1 Daniell. — Die vorderen Kanten beider Thonspitzen sehr scharf.

12 *h*. 8 *m*.			Grosse Rana esc. ††.
20 *m*.			Ischiad. mit einer c. 10^{mm} unterhalb des Abganges des stärksten Oberschenkelastes gelegenen Stelle so zwischen die Thonkanten gebracht, dass die Längsaxe des Nerven genau senkrecht auf der Verbindungslinie der am weitesten vorspringenden Punkte der beiden Thonspitzenkanten steht.
27 *m*.			*K* geschlossen. Stromeintritt bei z_1.
	7″.	749.	Der Widerstand nimmt zu.
28 *m*.		776.	
29 *m*.		791.	
31 *m*.		815.	
33 *m*.		833.	
35 *m*.		850.	
37 *m*.		860.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *z*.
	10″.	858.	Der Widerstand nimmt ab.
38 *m*.		853,5.	
39 *m*.		843,5.	
41 *m*.		831,5.	

12 *h.* 43 *m.* 825.
45 *m.* 819.
47 *m.* 814,5. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei z_1.
10″. 812.
48 *m.* 823.
50 *m.* 840.
52 *m.* 856. *K* geöffnet. — Keine Ablenkung.

Es wird jetzt eine um c. 5^{mm} dem Unterschenkel nähere Stelle des Nerven ganz so, wie die erste Stelle, zwischen die Thonkanten gebracht.

1 *h.* 2 *m.* *K* geschlossen. Stromeintritt bei *z*.
10″. 655. Der Widerstand nimmt zu.
3 *m.* 707.
4 *m.* 741.
6 *m.* 780.
8 *m.* 806. Empfindlichkeit: auf 10^{mm} Verschiebung
10 *m.* 825. von *S* c. $3{,}5^{sc}$ const. Spiegelablenkung.
12 *m.* 841. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei z_1.
10″. 805. Der Widerstand nimmt ab.
13 *m.* 745.
15 *m.* 710.
17 *m.* 702.
19 *m.* 699,5. Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
22 *m.* wo Wippe *B* umgelegt wird, so dass Stromeintritt wieder bei *z*.
10″. 696. Der Widerstand nimmt zu.
23 *m.* 703.
24 *m.* 719.
26 *m.* 750. *K* geöffnet. — 1^{sc} Ablenkung.

An dem mit dem Ischiad. in unversehrter Verbindung erhaltenen Schenkel war nie Muskelzuckung eingetreten. — Als die Versuche 2 *h.* 20 *m.* abgebrochen wurden, war der Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Versuch 121.

Wd: Capillarröhren I., II. und III. neben einander. — *K*: 1 Daniell. — Die Thonspitzenkante von z_1 ist scharf, die von *z* ist sehr stumpf.

9 *h.* 44 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ††.

9 *h.* 53 *m.*				Ischiad. mit einer c. 8^{mm} unterhalb des Abganges des stärksten Oberschenkelastes gelegenen Stelle so zwischen die Thonkanten gebracht, dass Durchströmung möglichst quer.
10 *h.*	1 *m.*			*K* geschlossen. Stromeintritt bei z_1. (Keine Zuckung.)
		10″.	913.	Der Widerstand nimmt zu.
	2 *m.*		925.	
	3 *m.*		935.	
	5 *m.*		950.	
	7 *m.*		959.	
	9 *m.*		967.	
	11 *m.*		971.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei z_1. (Ganz schwache Zuckung.)
		10″.	969.	Der Widerstand nimmt zu.
	12 *m.*		970.	Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
	21 *m.*			wo Wippe *B* umgelegt wird, so dass Stromeintritt wieder bei z_1. (Schwache Zuckung.)
		10″.	959.	Der Widerstand nimmt ab.
	22 *m.*		956.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	23 *m.*		959.	
	25 *m.*		965,5.	
	31 *m.*		977.	*K* geöffnet. — $\frac{1}{2}^{sc}$ Ablenk. — (Keine Zuckung.)

Jetzt wird die rechte Zuleitungsröhre gegen die linke um etwa 1^{mm} verschoben, so dass der mit einer um c. 8^{mm} dem Unterschenkel näheren Stelle zwischen die Thonkanten gebrachte Nerv schräg durchströmt wird.

10 *h.*	40 *m.*			*K* geschlossen. Stromeintritt bei z_1. (Schwache Zuckung.)
		10″.	610.	Der Widerstand nimmt zu.
	41 *m.*		644.	
	42 *m.*		673.	
	44 *m.*		713.	
	46 *m.*		735.	
	48 *m.*		748,5.	
	50 *m.*		756,5.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *z*. (Schwache Zuckung.)
		10″.	746.	Der Widerstand nimmt ab.
	51 *m.*		731.	
	52 *m.*		719.	
	54 *m.*		713.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	56 *m.*		715,5.	
	58 *m.*		721,5.	

11 *h*.	0 *m*.	727.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei z_1. (Keine oder höchst schwache Zuckung.)
	10″.	715.	Der Widerstand nimmt ab.
	1 *m*.	705.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	2 *m*.	709.	
	4 *m*.	725.	
	10 *m*.	760.	*K* geöffnet. (Schwache Zuckung.)

Unsere Aufgabe würde nunmehr noch dahin gehen, die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke unter sonst gleichen Umständen bei der Längen- und bei der Querdurchströmung des Nerven genauer zu vergleichen. Allein diese Aufgabe ist nicht zu lösen, weil wir die Länge der durchströmten Strecke und ihre Berührungsflächen mit den Zuleitungsröhren nur unvollkommen, ihren Querschnitt aber selbst nicht annähernd in beiden Fällen gleich zu halten vermögen. Eben deshalb lässt sich schon die Verschiedenheit des specifischen Widerstandes des Nerven in seiner Längs- und Querrichtung, die nach dem uns bekannten längsfaserigen Bau des Nerven zweifellos bestehen muss, nicht constatiren. Wir müssen also dabei stehen bleiben, dass die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke und die inneren Vorgänge in derselben bei der queren Durchströmung im Wesentlichen dieselben sind wie bei der der Längsaxe parallelen Durchströmung des Nerven, und dass jedenfalls nur geringe Verschiedenheiten die Folgen der verschiedenartigen Durchströmung sind. Kann auch für den Augenblick das Ergebniss auffallen und kann es misslich scheinen, dass wir bei diesem Erfolge unserer Untersuchung uns beruhigen müssen, so wird doch weiterhin das Verständniss, welches wir im Kap. VI. gewinnen werden, uns zufrieden stellen.

Bei der schrägen Durchströmung des Nerven brauchen wir nun nicht mehr zu verweilen. Denn für sie gilt selbstverständlich erst recht, was wir für die quere Durchströmung ermittelt haben, und nur zum Ueberflusse verschaffen wir uns noch durch besondere, nach Art des Vers. 121. angestellte Versuche darüber Gewissheit. Wir könnten somit auch die Betrachtung des Einflusses der Richtung des Stromes überhaupt verlassen, wenn nicht noch gewisse Rücksichten uns aufhielten.

(2.) Von der auf- und absteigenden Durchströmung des Nerven.

Es ist bereits einmal von *du Bois-Reymond* die Frage aufgenommen worden, ob der specifische Widerstand des der Längsaxe parallel durchströmten Nerven bei der aufsteigenden und bei der absteigenden Strom-

richtung der nämliche ist. »(Vorher) konnte«, sagt *du Bois-Reymond*[1], »der Vermuthung Raum gegeben werden, dass vielleicht die ungleiche Grösse der Phasen auf dem ungleichen Widerstande des Nerven in beiden Richtungen beruhe. So wenig innere Wahrscheinlichkeit dieser Annahme zustand, so hatte ich doch einigen Grund dabei zu verweilen. Sie würde beigetragen haben, die Unterschiede begreiflich zu machen, die sich häufig in der Stärke des erregenden Stromes je nach seiner Richtung zwischen den Blechen kund geben. Zudem ist sie es allein, mit deren Hülfe man die oben . . . mitgetheilte angebliche Erfahrung *Matteucci's* allenfalls zu erklären vermöchte. Der einzige Sinn, den dieselbe in ihrer rohen Verwickelung bieten zu können scheint, würde der sein, dass die Nerven in absteigender Richtung schlechter leiten als in aufsteigender.« Ein Versuch *du Bois-Reymond's*[2] hat darauf gegen die Annahme entschieden. Aber dieser Versuch ist einmal bei dem jetzigen Stande der Dinge nicht mehr ganz beweiskräftig, und sodann schliesst er auch die Annahme nicht aus, sobald dieselbe mit Rücksicht auf die sensibeln und motorischen Nervenfasern in einer sehr nahe liegenden Weise erweitert wird. Birgt nun auch die in Rede stehende Annahme, wie es schon in *du Bois'* Worten angedeutet ist, wenn man sie verfolgt, nur ganz abenteuerliche Vorstellungen in sich, so dürfen wir sie doch, nachdem sie einmal Ausdruck gefunden hat, hier nicht vernachlässigen, weil auf ihrer Unzulässigkeit die Richtigkeit der Analysen der §§ 5. und 8. des Kap. II. beruht. Ueberdies kann es auch für die Erklärung, zu welcher wir später gelangen werden, sowohl jener von *du Bois-Reymond* angezogenen Erfahrungen, wie der auffälligen Verschiedenheit der physiologischen Erscheinungen an den in unversehrter Verbindung mit dem Nerven erhaltenen Central- und Endorganen, je nachdem der Strom auf- oder absteigend den Nerven durchfliesst, nur von Vortheil sein, wenn wir die so billige Annahme, die bei jeder Gelegenheit herbeigezogen werden könnte, hier ein für alle Male beseitigen.

Den hierhergehörigen Versuch beschreibt *du Bois-Reymond* folgendermassen: »Mit dem Kreise des Museumsmultiplicators (halbe Länge und das leichtere, 10″ schlagende Nadelspiel) und einer Grove'schen Kette wurden mittelst des Stromwenders zwei Platinplatten verbunden, welche mit gleichen Oberflächen von etwa 25^{mm} Seite jede in ein Gefäss mit dunkelgrüner rauchender Salpetersäure tauchten. In dieser standen poröse Thonzellen mit gesättigter Salpeterlösung. Der Ischiadicus eines grossen Frosches wurde durch ein zweimal rechtwinklig gebogenes heberförmiges Glasrohr von ungefähr gleicher Länge gezogen. Die Mündungen des Rohres

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 378*.
2) a. a. O. S. 379*.

verschloss ich mit Stopfen aus Fliesspapier, das mit Eiweiss getränkt war, dergestalt, dass die Stopfen zugleich die Enden des Nerven zwischen sich und der Wandung des Rohres leicht einklemmten. Nun wurden die Enden des Rohres mit ihren Stopfen in die Salpeterlösung der Thonzellen umgestürzt. So erreichte ich 1) wegen der rauchenden Salpetersäure, möglichst schwache Polarisation; 2) wegen der Gleichheit der eingetauchten Platinoberflächen, möglichste Gleichheit der etwa übrig bleibenden elektromotorischen Gegenkraft bei beiden Richtungen des Stromes durch die Vorrichtung; 3) nahezu Verschwinden aller übrigen Widerstände, mit Ausnahme etwa desjenigen der doch kurzen und dicken Stopfen, gegen den des Nerven; 4) dass der Nerv nicht durch chemische Einwirkung in seiner Leistungsfähigkeit beeinträchtigt werden konnte; endlich 5) dass er vor der Trockniss auf das vollständigste geschützt war. Diese Anordnung erfüllte denn auch ihren Zweck vollkommen; denn es fand sich, dass, wenn die Wippe des Stromwenders mit einiger Schnelligkeit umgelegt wurde, die Nadel gänzlich in Ruhe blieb.«

Wider diesen Versuch lässt sich einwenden, dass in dem Schliessungskreise wegen seiner enormen Widerstände die Verschiedenheit des Widerstandes des Nerven bei den beiden Stromrichtungen, wenn ihr nicht eine recht ansehnliche Grösse zukam, gar nicht hat zur Wahrnehmung kommen können. Freilich lässt sich entgegnen, die unklare Annahme, um welche es sich handelt, schliesse jedenfalls ein, dass mit der Länge des Nerven, wie dessen Widerstand überhaupt, so auch in demselben Verhältnisse die Differenz des Widerstandes bei den beiden Stromrichtungen wachse: und danach bewiese der Versuch, dass die letztere Differenz gegen den Widerstand überhaupt verschwindend klein sei. Immerhin wäre aber doch eine grössere Empfindlichkeit des stromprüfenden Instrumentes oder eine feinere Methode der Widerstandsbestimmung wünschenswerth gewesen. Denn dafür, dass jene Empfindlichkeit nicht ausreichend war, liesse als Beweis gerade der Erfolg des Versuches aus dem Grunde sich hinstellen, weil bei der gegebenen Anordnung nach unseren jetzigen Kenntnissen die Eiweissstopfen und der Nerv secundären Widerstand haben annehmen müssen; und es ist in der That kaum zu bezweifeln, dass bei der Wiederholung des Versuches mit einem empfindlicheren Galvanometer oder mit Hülfe der *Wheatstone*'schen Methode, wenn eine solche Wiederholung zur Jetztzeit noch lohnend wäre, nach dem Umlegen der Wippe die Nadel wohl ihre Stellung verändern würde. Ja man könnte sogar *du Bois-Reymond's* Resultat jetzt damit erklären wollen, dass gerade die Verschiedenheit des Widerstandes des Nerven bei den beiden Stromrichtungen diejenigen Widerstandsveränderungen verdeckt habe, welche in Folge des secundären Widerstandes nach dem Umlegen der Wippe im Schliessungskreise hätten

statthaben müssen. Genug, wie man sieht, ist eine erneute experimentelle Widerlegung der Annahme zum Mindesten nicht überflüssig.

Und eine solche Widerlegung liegt bereits vielfach geführt vor uns in unseren zahlreichen Versuchen über die Widerstandsveränderungen des Nerven mit der Zeit [§ 5 (2) und § 7 (3)], bei welchen wir, um die Widerstandsveränderungen in Folge der Durchströmung unschädlich zu machen, mit Hülfe momentaner Schliessungen bei wechselnder Stromrichtung den Widerstand der Nervenstrecke bestimmt haben. Diese Versuche und zwar besonders diejenigen unter ihnen, bei welchen der Nerv zwei gleichen Zuleitungsröhren mit mittleren Stellen seines Verlaufes auflag, sind zugleich Versuche über die Abhängigkeit des Widerstandes von der Stromrichtung gewesen, wie solche in der vollkommensten Form jetzt anzustellen sein würden. Wir haben nun, wenn die Widerstandsveränderungen in Folge der Durchströmung nur langsam nach der Schliessung der Kette erfolgten, bei beiden Stromrichtungen dieselbe Stellung des Schiebers erforderlich gefunden, um den Spiegel an seine Ruhelage zu fesseln; und wenn jene Widerstandsveränderungen rascher vor sich gingen, so dass wir die beiden Schieberstellungen aufsuchen mussten, von welchen die eine den Spiegel nach der Schliessung der Kette ein wenig nach der einen Seite, die andere ein wenig nach der anderen Seite ausschlagen liess, haben diese beiden, auch immer nur um wenige Mm. von einander abweichenden Schieberstellungen durchaus unabhängig von der Stromrichtung sich ergeben. Danach kann es keinem Zweifel mehr unterliegen, dass der specifische Widerstand unseres Nerven bei der aufsteigenden wie bei der absteigenden Stromrichtung derselbe ist.

»Unseres Nerven« müssen wir aber sagen, weil man an unseren Versuchen, wie an *du Bois-Reymond's* Versuche, noch etwas auszusetzen finden kann. Hat man einmal zu der Annahme sich verstanden, dass der Nerv und damit die Nervenfasern in der einen Richtung besser leiten als in der anderen, so liegt es nur zu nahe, die bessere Leitungsfähigkeit weiter noch für die motorischen Nervenfasern in der Richtung vom Ursprunge nach der Ausbreitung hin, für die sensibeln Nervenfasern in der umgekehrten Richtung in Anspruch zu nehmen. Und die so modificirte Annahme ist durch unsere Versuche nicht widerlegt. Denn unsere Ergebnisse lassen sich alsdann durch die Mischung der motorischen und sensibeln Nervenfasern im Stamme des Ischiadicus, der unser Versuchsobject gewesen ist, erklären: im Stamme des Ischiadicus, kann man sagen, sei die Mischung von beiderlei Nervenfasern gerade der Art, dass es für den Widerstand gleichgültig ist, welche Richtung dem Strome im Nerven zukommt; bei anderen Nerven mit anders gearteter Zusammensetzung könne darum doch der Widerstand bei den beiden Stromrichtungen ein verschiedener sein. Um unser Ergebniss

allgemeingültig zu machen, müssten wir also mindestens noch mehrere gemischte Nervenstämme untersuchen. Wir ziehen es aber vor, die Sache tiefer anzugreifen, und wenden uns der Untersuchung der motorischen und sensibeln Wurzeln des Ischiadicus zu.

Nachdem Alles wie zu den Versuchen des § 5 (2) vorbereitet ist, legen wir an einem eben getödteten Frosche nach vorsichtiger Eröffnung der Wirbelsäule den Ischiadicus mit seinen Wurzeln von der unteren Hälfte des Oberschenkels an bis zum Rückenmarke hin frei. Mit Hülfe einer zwischengeschobenen feinen Staarnadel isoliren wir darauf das Bündel der vorderen Wurzeln in seiner ganzen Länge von dem der hinteren Wurzeln und trennen mit der Scheere, je nachdem die Prüfung auf vordere oder hintere Wurzeln sich erstrecken soll, die hinteren resp. die vorderen Wurzeln vom Rückenmarke einerseits und von dem Stamme des Ischiadicus andererseits los. Weiter präpariren wir ohne jede Zerrung vom Oberschenkel aus den Ischiadicus mit dem einen Wurzelbündel und einem Stücke des Rückenmarkes heraus und schneiden zum Schlusse noch, wenn wir nicht das ganze Wurzelbündel zum Versuche verwenden wollen, eine oder zwei Wurzeln da, wo die Wurzeln zusammentreten, einerseits und vom Rückenmarke andererseits ab. Wir haben alsdann über eine 12—15^{mm} lange, von Schnittstellen freie Wurzelstrecke zu verfügen, und wir lagern diese mit ihrem mittleren Theile den 6—10^{mm} von einander entfernten Thonspitzenkanten auf, so dass der als Handhabe dienende Nervenstamm auf die eine und das Rückenmarksstück auf die andere der zu den Seiten der Zuleitungsröhren befindlichen Glasröhren zu liegen kommen. Im Uebrigen verfahren wir ganz so, als ob wir für die Verfolgung der Widerstandsveränderungen mit der Zeit eine Widerstandsbestimmung machen wollten. Die Erfahrungen, welche wir dabei gewinnen, weichen aber in Nichts von unseren früheren, vorhin angegebenen Erfahrungen am Ischiadicus-Stamme ab. Es ist also der specifische Widerstand der motorischen wie der sensibeln Nervenfasern und demgemäss auch des Nerven im Allgemeinen von der auf- oder absteigenden Stromrichtung durchaus unabhängig.

Für die Richtigkeit der Analysen der §§ 5. und 8. des Kap. II., soweit die vorbehandelte Annahme sie in Frage brachte, hätten wir übrigens bei der geringen Genauigkeit der Analysen nur darauf uns zu berufen brauchen, dass wir bei den zahlreichen Versuchen des Kap. II., bei welchen wir die Stromrichtung umkehrten, nie auf Verschiedenheiten gestossen sind, je nachdem der Strom zuerst auf- und später absteigend oder umgekehrt die Nervenstrecke durchfloss. Es lässt sich aber auch die Unabhängigkeit der durch den Strom gesetzten Widerstandsveränderungen von der Stromrichtung noch selbstständig auf das Strengste erweisen. Wir wiederholen nämlich unsere Oppositions-Vorversuche (S. 163.) mit der Modification, dass

wir die beiden Nerven in entgegengesetzter Richtung mit Bezug auf Ursprung und Ausbreitung auf die Zuleitungsröhren bringen und *a* und *β* und wiederum *α* und *b* die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sein lassen. Als intrapolare Nervenstrecke nehmen wir dabei immer in höchstens 8^{mm} Länge die schon sonst von uns bevorzugte Nervenstrecke nicht weit unterhalb des Abganges des stärksten Oberschenkelastes, um trotz der verschiedenen Richtung der Nerven die Berührungsfläche zwischen der positiven Zuleitungsröhre und dem Nerven beide Male von ohngefähr gleicher Grösse zu erhalten (vgl. o. S. 166.); auch machen wir aus Vorsicht bei einem Theile der Versuche die extrapolaren Nervenstrecken zu den Seiten sowohl der Stromeintritts- wie der Stromaustrittsstellen durch Verkürzung des im betreffenden Falle längeren Nerven bei beiden Nerven gleich lang. Diese Versuche liefern dann ganz dieselben Ergebnisse wie unsere Oppositions-Vorversuche (S. 163.). Und die Versuche lassen sich natürlich auch auf Grund der uns bekannten Abhängigkeit der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke von dem specifischen Widerstande der Nervenflüssigkeit als neuer Beweis gegen die vorhin widerlegte Annahme verwerthen.

§ 9. Von dem Einflusse der anatomischen Lage der intrapolaren Nervenstrecke.

Wir gehen weiter und ziehen die anatomische Lage der durchströmten Nervenstrecke in Betracht. Mit ihr ändert sich an dem stets in gleicher Weise hergerichteten Nerven die Länge der extrapolaren Nervenstrecke; aber deren Bedeutung soll uns noch besonders beschäftigen und darf zunächst ausser Acht bleiben, indem wir hier die Länge der extrapolaren Nervenstrecken nicht unter 10^{mm} sinken lassen (s. u. § 11.). Der Einfluss der anatomischen Lage der durchströmten Nervenstrecke kann dann nur in den Verschiedenheiten begründet sein, welche der Nerv an den verschiedenen Stellen seines Verlaufes bietet. Diese sind als Querschnitts- (und Gestalts-) Verschiedenheiten schon früher zur Sprache gekommen (s. o. S. 105; 166.): und es ist danach auf Grund der Erfahrungen der §§ 2. und 3. zu erwarten, dass die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes an den dünneren und mehr cylindrischen Nervenstrecken unter sonst gleichen Umständen steiler verläuft, als an den dickeren und mehr abgeplatteten Nervenstrecken.

Dies ergeben auch in der That die Versuche. Nachdem wir die Oppositions-Vorversuche (S. 163.) ausgeführt haben, ändern wir dieselben dahin ab, dass wir von den beiden Nerven desselben Frosches anatomisch

ungleichwerthige Strecken dem Strome aussetzen: vom Nerven N lassen wir immer unsere bevorzugte Strecke nicht weit unterhalb des Abganges des stärksten Oberschenkelastes, vom Nerven N_1 aber entweder eine dicht unterhalb des Plexus gelegene Strecke oder eine Strecke des Plexus selbst oder endlich eine dem Muskel nahe Strecke durchströmt sein. Φ ist dann immer wesentlich grösser als 1 und nimmt bei der Durchströmung zu. Im Falle der Verwendung einer dem Muskel nahen Strecke müssen aber, damit dieses Ergebniss erhalten werde, die Rami peroneus und tibialis neben einander den Thonspitzenkanten aufliegen; liegt der eine Nervenast über dem anderen, so ist Φ kleiner als 1 und nimmt bei der Durchströmung noch ab.

Der Einfluss der anatomischen Lage der durchströmten Nervenstrecke läuft also, von der Länge der extrapolaren Nervenstrecke abgesehen, im Wesentlichen auf nichts Anderes als erstens auf den Einfluss des Querschnittes der intrapolaren Nervenstrecke und zweitens auf den besonderen Einfluss der Grösse der Berührungsfläche der Nervenstrecke mit der positiven Zuleitungsröhre hinaus; und unsere neuesten Versuche stellen nur unwesentliche Modificationen der analogen Versuche in den §§ 2. und 3. vor. Dass wir dort oben für die Vergrösserung des Querschnittes u. s. w. nicht anatomisch ungleichwerthige Strecken des Nerven verwandt haben, hatte seinen Grund darin, dass man in diesem Falle die Ergebnisse der Versuche damit hätte verdächtigen können, dass die Stärke des Neurilemms im Verlaufe des Nerven sich ändert. Jetzt kann nach der Uebereinstimmung der Ergebnisse jener Versuche der §§ 2. und 3. und unserer neuesten Versuche keine Rede mehr davon sein, dass die an den verschiedenen Strecken des Nerven ein wenig verschiedene Dicke des Neurilemms von wesentlichem Einflusse auf die Widerstandsveränderungen sei, welche die verschiedenen Strecken des Nerven unter dem Einflusse des Stromes erfahren.

Aber noch ein Umstand nimmt hier unsere Aufmerksamkeit in Anspruch.

Bei der Kritik gewisser physiologischer Erfahrungen, welche wir später zu behandeln haben werden, kommt *Pflüger* auf die Möglichkeit zu sprechen, dass der specifische Widerstand der Nervenfaser mit ihrem Abstande vom Muskel sich ändert. »Unwahrscheinlich im höchsten Grade,« sagt *Pflüger*, »ist es freilich, dass dieser Widerstand mit dem Abstande vom Muskel fortwährend abnehmen sollte, was nothwendig eine nicht unbeträchtliche Aenderung der materiellen Beschaffenheit der Faser andeuten würde. Ich habe indessen mit Hülfe des Multiplicators zwei gleich lange, gleich dicke Nervenstücke mit einander verglichen und mich überzeugt, dass kein Unterschied in ihrem Widerstande mit Rücksicht auf Ursprung

und Ausbreitung vorhanden ist, wie ich nachher auseinandersetzen werde[1].« Und an der Stelle, auf welche hier verwiesen wird, heisst es: »Gleichwohl wollte ich mich noch direct überzeugen, dass in der That ein solcher Unterschied, der ausserordentlich gross und leicht zu constatiren sein müsste, in Wirklichkeit nicht vorhanden sei. Ganz ungeheuer müssten diese Unterschiede sein, wenn sie auch bei diesen Versuchen die Ursache des beobachteten Erfolgs gewesen sein sollten Ich verglich zwei gleich dicke Strecken des Ischiadicustheiles, welcher unter dem Abgange der Oberschenkeläste gelegen ist, bei einem Elektrodenabstand von 1 Cm., mit einander, und bestimmte dann, während ich mich eines schwachen Stromes bediente und beide Hälften des Museums-Multiplicators in den Kreis nahm, die constante Ablenkung. Ich verschob dann sanft die Elektroden unter dem Nerven hin, entweder von oben nach den tieferen Theilen des Nerven oder umgekehrt. Nicht selten blieb die Nadel genau auf demselben Grad stehen; in anderen Fällen wich sie um einige Grade zurück, oder ging um einige vorwärts, ohne dass sich hierbei irgend eine Beziehung zu der grösseren oder geringeren peripherischen Lage des eingeschalteten Nerventheils herausstellte. Wir dürfen demnach ganz unzweifelhaft behaupten, dass solche Unterschiede in der Leitungsgüte der Nervenfaser an verschiedenen Stellen ihrer Länge nicht vorhanden sind, welche auch nur im Entferntesten unser Resultat zu erklären geeignet sein könnten[2].« Endlich sagt *Pflüger* an einer dritten Stelle: »Ich bin nun allerdings — und das muss hier hervorgehoben werden — der Ansicht, dass die inneren Zustände der Nerven von Querschnitt zu Querschnitt stets variiren, oder mit anderen Worten, dass der Nerv von seiner Ausbreitung bis zum Centralorgan hin sich in seinen Molecularzuständen stetig ändere. Leider ist eine dies erweisende Untersuchung von mir noch nicht hinreichend abgeschlossen, so dass dieselbe hier nicht abgehandelt werden konnte[3].« Die in den letzten Worten angezeigte Untersuchung ist bis jetzt nicht erschienen.

Wir wollen hier nicht erörtern, ob die Annahme, dass der specifische Widerstand der Nervenfaser oder der Nerv in seiner Molecularconstitution — es handelt sich, wohlbemerkt, immer um den Nerven des unversehrten lebenden Thieres oder um den isolirten Nerven, der von dem ersteren Nerven noch nicht wesentlich abweicht — von Querschnitt zu Querschnitt stetig sich ändert, von vornherein überhaupt zulässig ist. Auch wollen wir nicht mit *Pflüger* darüber rechten, ob nicht die stetige Veränderung des Nerven in seinen Molecularzuständen, an welche er glaubt, nothwendig

1) *Pflüger*, Untersuchungen zur Physiologie des Elektrotonus. S. 144—5*.
2) *Ebenda* S. 150*.
3) *Ebenda* S. 222*.

verknüpft sein müsste mit einer stetigen Veränderung des specifischen Widerstandes, welche ihm im höchsten Grade unwahrscheinlich vorkam und wider welche seine Versuche gerichtet waren. Der Umstand, dass es auf Grund physiologischer Erfahrungen einmal in Frage gekommen ist, ob nicht der specifische Widerstand des Nerven im Verlaufe des Nerven sich ändert, und dass eine dahin gehende Annahme bisher nicht ausreichend experimentell zurückgewiesen ist, zwingt uns, bei eben dieser Annahme zu verweilen.

Die Vergleichung der beiden zuerst angeführten Stellen der *Pflüger*'schen »Untersuchungen« könnte Zweifel entstehen lassen, ob *Pflüger* durch seine Versuche jede Variation des specifischen Widerstandes des Nerven im Verlaufe desselben überhaupt widerlegt haben wollte oder nur eine so grosse Variation des Widerstandes, dass ihr der Erfolg seiner anderweitigen Versuche hätte zugeschrieben werden können. Indessen ist wohl das Letztere anzunehmen: und in der Hinsicht sind *Pflüger's* Versuche in der That beweisend. Eine Variation des Widerstandes überhaupt schliessen aber die Versuche nicht aus, von anderen Gründen abgesehen, schon wegen der geringen Empfindlichkeit des stromprüfenden Instrumentes; denn nur dem Umstande mögen wir es zuschreiben, dass wir, wenn wir die *Pflüger*'schen Versuche mit Hülfe der *Wheatstone*'schen Methode wiederholen, stets beträchtliche Widerstandsveränderungen in einem bestimmten Sinne der Verschiebung der Elektroden folgen sehen. Und diese Widerstandsveränderungen, auf welche des Weiteren einzugehen nicht lohnt, sind auf Grund unserer bereits vorliegenden Erfahrungen über die durch den Strom gesetzten Widerstandsveränderungen im Verein mit den Erfahrungen des Kap. IV. sehr leicht erklärlich durch die Aufnahme noch nicht durchströmter Nervenstrecken an Stelle durchströmter Nervenstrecken, ohne dass man anzunehmen nöthig hätte, dass der specifische Widerstand des Nerven in den ersten Strecken ein anderer ist als in den zweiten Strecken. Auf dem vorgerückten Standpunkte, welchen wir einnehmen, ist es von vornherein klar, dass für die Untersuchung des specifischen Widerstandes die Fehlerquelle, welche die Widerstandsveränderungen bei der Durchströmung abgeben, eliminirt sein muss.

Wir verwenden für unsere Versuche durchweg grosse Frösche, um die Nervenstrecke von überall gleichem Querschnitte, auf welche die Untersuchung beschränkt bleiben muss, möglichst lang zu haben; unsere Versuchsanordnung ist die der Fig. 1., und der Abstand von z und z_1 beträgt 3^{mm}. Von dem Nerven des eben getödteten Thieres legen wir zunächst die Strecke dicht unterhalb der Abgangsstelle des untersten Oberschenkelastes auf die Zuleitungsröhren, so dass diese Abgangsstelle etwa um $1-2^{mm}$ von der einen Thonspitzenkante entfernt bleibt, und bestimmen den Widerstand

der Nervenstrecke mit Hülfe momentaner Schliessungen und rascher Verstellung des Schiebers *S* (vgl. o. S. 238). Alsdann heben wir den Nerven ab und legen ihn mit einer c. 10mm tiefer d. h. dem Muskel näher gelegenen Strecke, im Uebrigen aber ganz so, wie vorher, den Zuleitungsröhren auf. Schliessen wir jetzt die Kette wieder, so finden wir die vom vorigen Versuche her unverändert gebliebene Schieberstellung auch jetzt noch genau richtig, oder die jetzt erforderliche Schieberstellung weicht nur um wenige Mm., bald im Sinne einer Vergrösserung, bald im Sinne einer Verringerung des Nervenwiderstandes, von der früheren Schieberstellung ab. Wir bringen darauf nochmals möglichst genau die zuerst geprüfte Nervenstrecke auf die Zuleitungsröhren, und es wiederholen sich die eben angegebenen Erfahrungen; ebenso, wenn wir weiter eine Nervenstrecke untersuchen, welche zwischen den beiden bisher geprüften Nervenstrecken gelegen ist. In wohlgelungenen Versuchen und besonders, wenn bei einiger Uebung die erste Widerstandsbestimmung nur 2—3 Schliessungen erfordert hat, lassen sich so 6—8 nicht irgend wesentlich abweichende Widerstandsbestimmungen gewinnen. Nehmen wir aber von den beiden zuerst geprüften Nervenstrecken die dem Muskel näher gelegene 12mm oder gar noch mehr von der anderen entfernt an, so finden wir ihren Widerstand regelmässig kleiner, als den der vom Muskel weiter entfernten Nervenstrecke.

Die eben ausgeführte Untersuchung wiederholen wir am Ramus tibialis, nachdem wir den R. peroneus da, wo die beiden Aeste auseinandergehen, abgeschnitten haben, und wir fangen mit unseren Widerstandsbestimmungen an einer c. 5mm tiefer gelegenen Nervenstrecke an[1]. Endlich führen wir die Untersuchung noch an einer Wurzel des Ischiadicus durch, indem wir dasselbe Präparat, wie oben S. 328., herrichten, und zwar nehmen wir der bequemeren Präparation halber eine hintere Wurzel; von der sonst immer erfüllten Bedingung der Versuche, dass keine der extrapolaren Nervenstrecken weniger als 10mm lang sei, müssen wir hier allerdings absehen. Der Erfolg ist bei den beiden letzten Untersuchungen ganz derselbe wie bei der ersten Untersuchung. Die Herrichtung des Wurzel-Präparates muss aber sehr vorsichtig geschehen. Auch muss der Nerv nach jeder Widerstandsbestimmung vorsichtig von den Zuleitungsröhren abgehoben und mit der neuen Strecke von Neuem aufgelegt werden; verschiebt man den Nerven auf den Thonspitzen, wie es anfangs nahe liegt, so macht man bei der ersten Untersuchung oft noch die angegebenen Wahrnehmun-

1) Der Schnittstelle näher hat, aus nicht weiter ermittelten Gründen, der Widerstand öfters kleiner sich ergeben. — Die nicht gerade seltenen Nerven, bei welchen der Peroneus und der Tibialis erst ziemlich tief unten am Oberschenkel auseinandergehen, sind für die in Rede stehende Untersuchung nicht brauchbar.

gen, bei den beiden letzten Untersuchungen aber findet man dann, offenbar in Folge der Zerrung des Nerven, in der Regel grössere Abweichungen des Widerstandes an den verschiedenen Nervenstrecken.

Durch die vorgewonnenen Ergebnisse ist nun die Annahme, dass der specifische Widerstand der Nervensubstanz im Verlaufe des Nerven vom Centrum zur Peripherie hin eine Veränderung erfährt, auf das Strengste widerlegt. Man kann es bedauerlich finden, dass wir unsere vergleichenden Widerstandsbestimmungen in nicht mehr als c. 15^{mm} Abstand haben anstellen können: allein bei diesem Abstande hätte eine Verschiedenheit des Widerstandes, wenn sie vorhanden wäre, bei der Feinheit unserer Methode sicher hervortreten müssen. Wir dürfen aber nicht unterlassen, hervorzuheben, dass unsere Ergebnisse nur für den vor Kurzem isolirten Nerven, der von dem Nerven des unversehrten lebenden Thieres noch nicht wesentlich abweicht, Geltung haben. So begreiflich es ist, dass die Constitution der Nervensubstanz am Nerven des unversehrten lebenden Thieres in der ganzen Länge des Nerven dieselbe ist, gerade so gut denkbar ist es auch, dass die Veränderungen, welche die Constitution des isolirten Nerven mit der Zeit erfährt, in Folge unserer Eingriffe bei der Isolirung des Nerven an einzelnen Stellen des Nerven rascher erfolgen als an anderen. Seit langer Zeit weiss man, dass die dem Querschnitte nächste Nervenstrecke rascher leistungsunfähig wird als die übrigen Nervenstrecken; und in neuerer Zeit habe ich nachgewiesen, dass auch gewisse Strecken im Verlaufe des Nervenstammes früher ihre Leistungsfähigkeit verlieren als andere Nervenstrecken[1]. Es ist darum im höchsten Grade wahrscheinlich, dass mit der Zeit nach der Trennung des Nerven der specifische Widerstand des Nerven an verschiedenen Stellen desselben ein verschiedener wird. Dann wird die anatomische Lage der durchströmten Nervenstrecke auch durch deren specifischen Widerstand von Einfluss auf die durch den Strom gesetzten Veränderungen sein; während bei dem frischen Nerven, auf welchen allein unsere Untersuchungen oben S. 330. sich erstreckt haben, für den Einfluss der anatomischen Lage der durchströmten Nervenstrecke der specifische Widerstand des Nerven gar nicht in Betracht kommt.

§ 10. Von dem Einflusse der Grösse (Dicke) des Nerven.

Der Einfluss der Grösse des Nerven scheint kaum noch eine besondere Untersuchung zu erfordern. Denn wenn wir die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke an Nerven verschieden grosser Thiere

1) *Reichert's* und *du Bois-Reymond's* Archiv u. s. w. 1862. S. 1 ff.

vergleichen, fällt die verschiedene Länge der Nerven als bedeutungslos aus, und der Einfluss der verschiedenen Dicke scheint, wie vorhin im § 9., durch die Erfahrungen der §§ 2. und 3. als der Einfluss des Querschnittes und der besondere Einfluss der Grösse der Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der positiven Zuleitungsröhre uns bereits gegeben zu sein. Indessen liegt doch in dem Falle der Vergleichung verschieden grosser Nerven eine wesentliche Abweichung von den Bedingungen sowohl der Versuche der §§ 2. und 3. wie auch der Versuche des § 9. vor. Bei allen unseren früheren Versuchen beruhte die Querschnitts-Verschiedenheit der verglichenen Nervenstrecken bei gleicher Grösse der Nervenfasern entweder auf der verschiedenen Anzahl der Nervenfasern oder auf der verschiedenen Anordnung derselben, durch welche die Nervenstrecke in ihrer Gestalt mehr oder weniger vom Cylinder abwich, daneben in unwesentlicher Weise auch noch auf der verschiedenen Dicke des Neurilemms. Bei den verschieden grossen Nerven hingegen ist die Querschnitts-Verschiedenheit der anatomisch möglichst gleichwerthigen Nervenstrecken, welche wir natürlich in Vergleich ziehen, bei gleicher Anzahl und bei gleicher Anordnung der Nervenfasern und bei gleichem Verhältnisse der Dicke des Neurilemms zu der Dicke der Nervenfasermasse durch die verschiedene Dicke der Nervenfasern bedingt, die im grösseren Nerven von grösserem, im kleineren Nerven von kleinerem Querschnitte sind. Mit Rücksicht darauf muss der Einfluss der Grösse des Nerven doch noch besonders untersucht werden. Wir lassen uns hier aber auf die Untersuchung nicht ein, weil durch die Bedingung gleicher Lebensfähigkeit der in Vergleich kommenden Nerven grosse Verwickelungen für die Untersuchung sich vorhersehen lassen und die wesentlichen Aufschlüsse, welche die Untersuchung darüber in Aussicht stellt, wie mit dem Wachsen des Nerven die Constitution der Nervenfasern sich ändert, weit über das hinausgehen, was wir zunächst zu erstreben haben.

§ 11. Von dem Einflusse der Länge des Nerven zu den Seiten der intrapolaren Nervenstrecke.

Der letzte Umstand endlich, dessen Einfluss wir zu untersuchen haben, ist die Länge der — in unversehrter Verbindung mit der intrapolaren Nervenstrecke erhaltenen — extrapolaren Nervenstrecken.

Nachdem wir die Oppositions-Vorversuche (S. 163.) ausgeführt haben, ändern wir dieselben in der Weise ab, dass wir unmittelbar vor der Auflagerung der beiden, zunächst in ihrer ganzen Länge von der Wirbelsäule bis zum Muskel hergerichteten Nerven ein mehr oder weniger langes Stück vom Nerven *N* abschneiden, so dass die eine extrapolare Strecke des

Nerven N kleiner ist als die entsprechende extrapolare Strecke des Nerven N_1. Wir lassen dabei immer b und β möglichst genau dieselben anatomischen, 2—3^{mm} unterhalb des Abganges des untersten Oberschenkelastes gelegenen Nervenstellen sein, und wir verkürzen den Nerven N immer an seinem centralen Ende. So lange die extrapolare Nervenstrecke zur Seite von b noch mehr als 8^{mm} lang ist, liefern die Versuche dann ganz dieselben Ergebnisse wie die Oppositions-Vorversuche (S. 163.). Ist aber die nämliche extrapolare Nervenstrecke kürzer, so ist Φ unmittelbar nach der Schliessung der Kette mehr oder weniger kleiner als 1 (bis = $^8/_5$), und bei der Durchströmung nimmt Φ entweder noch mehr oder weniger beträchtlich ab oder bleibt unverändert oder nimmt, jedoch immer nur unbedeutend, zu. Im Allgemeinen ist Φ unmittelbar nach der Schliessung der Kette desto kleiner und nimmt bei der Durchströmung desto mehr ab, je kürzer die extrapolare Nervenstrecke ist; doch kommen häufig Abweichungen vor. Auch scheint bei gleich kurzer extrapolarer Nervenstrecke die Abnahme von Φ bei der Durchströmung im Allgemeinen beträchtlicher zu sein, wenn der Strom bei b und β in die Nerven eintritt, als wenn a und α die Eintrittsstellen sind. Die Verkürzung der extrapolaren Nervenstrecke lässt sich übrigens nur bis auf c. 1½—1^{mm} treiben, weil bei noch grösserer Verkürzung die gleiche Auflagerung der Nerven auf z_1 und ζ_1 nicht gelingt. Dass eben dieser gleichen Auflagerung wegen die verkürzte extrapolare Nervenstrecke immer auf der zur Seite von z_1 befindlichen Glasröhre oder auf der Glasplatte eines ebenda aufgestellten Statives ruhen muss, ist selbstverständlich.

Versuch 122.

K: 1 Daniell.

12 *h*. 32 *m*. Mittelgrosse Rana esc. ††.

40 *m*. Beide Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass a und α und wiederum b und β die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind. Unmittelbar vorher ist das centrale Ende von N abgeschnitten worden; der Schnitt ist c. 1^{mm} unterhalb des Abganges des untersten Oberschenkelastes geführt. b ist c. 1^{mm} von der Querschnittfläche entfernt.

Bei Oeffnung des Bussolen-Schlüssels fast 2^{sc} Ablenkung im Sinne einer Verringerung von Φ.

45 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei b und β.

15″. 597. Φ nimmt ab.

46 *m*. 584. Empfindlichkeit: auf 10^{mm} Verschiebung

47 *m*. 559. v. *S* c. 6^{sc} const. Ablenk. des Spiegels.

12 h. 48 m. 534.
49 m. 508.
51 m. 466. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *a* und *α*.
15″. 500. *Φ* nimmt zu.
52 m. 543. Jetzt nimmt *Φ* ab.
54 m. 531.
57 m. 502. *K* geöffnet. — 1^{sc} Ablenkung.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge präparirt, von den Muskeln aber getrennt worden. Ihre Wirbelenden lagen nach rechts, ihre Muskelenden nach links. — *ab* und $\alpha\beta = 6^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 14^{mm}$; $\beta o = 5^{mm}$; $\beta\varrho = 36^{mm}$.

Versuch 123.

K: 1 Daniell.
10 h. 13 m. Mittelgrosse Rana esc. ††.
21 m. Beide Ischiadici so auf die Zuleitungsröhren gelegt, dass *a* und *α* und wiederum *b* und *β* die nämlichen (anatomischen) Stellen beider Nerven sind. Unmittelbar vorher ist das centrale Ende von *N* abgeschnitten worden; der Schnitt ist an der Abgangsstelle des untersten Oberschenkelastes geführt. *b* ist $2\frac{1}{2} - 3^{mm}$ von der Querschnittfläche entfernt.
Bei Oeffnung des Bussolen-Schlüssels fast 2^{sc} Ablenkung im Sinne einer Verringerung von *Φ*.
26 m. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *b* und *β*.
15″. c. 675. *Φ* nimmt zu.
27 m. 683. Empfindlichkeit wie bei Vers. 122.
28 m. 687. *Φ* verändert sich jetzt nicht merklich bis
30 m. und nimmt dann ab.
32 m. 686. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *a* und *α*.
15″. 677. *Φ* nimmt ab.
33 m. 668.
34 m. 665.
36 m. 662,5. *Φ* verändert sich jetzt nicht merklich bis
38 m. wo *K* geöffnet wird. — $1{,}3^{sc}$ Ablenkung.

Die Nerven waren in ihrer ganzen Länge präparirt, von den Muskeln aber getrennt worden. Ihre Wirbelenden lagen nach rechts, ihre Muskelenden nach links. — *ab* und $\alpha\beta = 6^{mm}$; *al* und $\alpha\lambda = 17^{mm}$; $\beta o = 5^{mm}$; $\beta\varrho = 36^{mm}$.

Die Verkürzung der extrapolaren Nervenstrecke zeigt sich also, so lange diese Nervenstrecke in noch mehr als 8^{mm} Länge erhalten bleibt, ohne Einfluss auf die Widerstandszunahme der (6—10^{mm} langen) intrapolaren Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes; sie bedingt aber eine geringere Steilheit des Verlaufes derselben Widerstandszunahme, wenn sie die Länge der extrapolaren Nervenstrecke auf weniger als 8^{mm} sinken lässt. Damit scheint, da es keine Schwierigkeiten bietet, auf das Verhalten der stellenweisen Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit weiter zu schliessen, die Untersuchung zu gutem Abschlusse gediehen zu sein. Indessen ergiebt die Ueberlegung — und der Versuch, den wir zu Hülfe rufen, entscheidet für die Richtigkeit der Ueberlegung (s. u. Kap. VI. § 1.) —, dass der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke mit der Abnahme der Länge der extrapolaren Nervenstrecke wachsen muss: und wir haben im Gegentheil jenen Widerstand mit dieser Abnahme kleiner werden sehen. Es kann danach nicht anders sein, als dass der Einfluss der Abnahme der Länge der extrapolaren Nervenstrecke bei unseren Versuchen mit einem anderen Einflusse complicirt gewesen ist. Diesen zweiten Einfluss zu ergründen, sind wir zur Zeit nicht im Stande, und wir müssen deshalb die Untersuchung, ohne ein befriedigendes Ergebniss gewonnen zu haben, hier aufgeben, die Frage nach dem Einflusse der Länge der extrapolaren Nervenstrecke noch offen lassen. Erst an einer viel späteren Stelle wird das augenblicklich uns mangelnde Verständniss gewonnen sein, und es wird sich alsdann zeigen, dass die Ergebnisse der eben ausgeführten Versuche in anderer Beziehung von viel grösserem Interesse sind als in Rücksicht auf die Frage, welche sie uns verschafft hat.

Kapitel IV.

Von den Widerstandsveränderungen der einzelnen Stellen der intrapolaren Nervenstrecke und den inneren Vorgängen in denselben.

Wir unterlassen es, die Ergebnisse des Kap. III. hier sogleich noch genauer zu erörtern, und schreiten weiter zur Untersuchung der Widerstandsveränderungen, welche die einzelnen Stellen der intrapolaren Nervenstrecke erfahren.

Die Untersuchung hat, wie schon S. 115. angedeutet worden ist, hauptsächlich insofern Interesse, als sie das Verständniss fördern kann der stellenweisen Verarmung an Flüssigkeit, welche an dem Nerven unter

dem Einflusse des Stromes auftritt, indem sie uns aufdeckt, wie es mit der Verarmung an den verschiedenen Stellen der intrapolaren Nervenstrecke sich verhält: und gerade insofern könnte sie nach unserem Studium der Gestaltsveränderungen des Nerven entbehrlich erscheinen. Denn dieses Studium hat bereits ergeben, dass es die der Stromeintrittsgegend zugehörigen Stellen der intrapolaren Nervenstrecke sind, welche — und zwar mit wachsendem Abstande von dem Stromeintrittsende zunehmend weniger — verarmen, und dass deren Verarmung mit der Stromdauer, der Stromintensität, dem specifischen Widerstande der Nervenflüssigkeit u. s. w. wächst. Indessen sind wir, so werthvoll uns auch überall die Bestätigung unserer anderweitigen Erfahrungen durch die Gestaltsveränderungen des Nerven gewesen ist, doch nicht gewohnt, auf die letzteren allein uns zu verlassen, und wir haben darum auch so weit immer noch von der Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke und nicht von der Verarmung ihrer Stromeintrittsgegend gesprochen. Die Widerstandsveränderungen aber der intrapolaren Nervenstrecke haben bisher nur einmal durch ihr Verhalten bei wiederholter Umkehrung der Stromrichtung (Kap. II. § 5.) herausgestellt, dass die verarmenden Nervenstellen bei der einen Stromrichtung anderswo gelegen sind als bei der entgegengesetzten Stromrichtung, und sodann durch ihre besondere Abhängigkeit von der Grösse der Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der positiven Zuleitungsröhre (Kap. III. § 3.) die Lage der verarmenden Nervenstellen gerade in der Stromeintrittsgegend wahrscheinlich gemacht. Wir müssen daher noch mit Hülfe der Widerstandsuntersuchungen den vorgerückten Standpunkt zu erreichen suchen, welchen wir durch das Studium der Gestaltsveränderungen des Nerven schon lange gewonnen haben.

§ 1. Von den Widerstandsveränderungen der unmittelbar an den Zuleitungsröhren gelegenen Stellen — der Stromeintrittsstelle und der Stromaustrittsstelle — der intrapolaren Nervenstrecke.

Wir beginnen mit der Untersuchung der unmittelbar an den Zuleitungsröhren gelegenen Stellen der intrapolaren Nervenstrecke, ihrer Stromeintrittsstelle und ihrer Stromaustrittsstelle.

Die Versuchsanordnung, welche wir treffen, ist in Fig. 20. dargestellt. Zu den Bestandtheilen der Versuchsanordnung Fig. 1. sind neu hinzugetreten die zweite Kette oder Säule K_1, der Stromwender mit ausgenommenem Kreuze C und der Stromwender D; auch befinden sich jetzt statt zweier drei gleiche Zuleitungsröhren (z, z_2, z_1) auf dem Glasstative neben einander. Die Wippe des Stromwenders B ist in der gezeichneten Lage I festgestellt. Bei der gezeichneten Lage I der Wippe C ist K_1 geöffnet, und wir sind mittelst der *Wheatstone*'schen Methode, ganz so wie bei der Ver-

suchsanordnung Fig. 1., die Widerstandsveränderungen zu verfolgen im Stande, welche die Strecke cb des mit drei mittleren Stellen seines Ver-

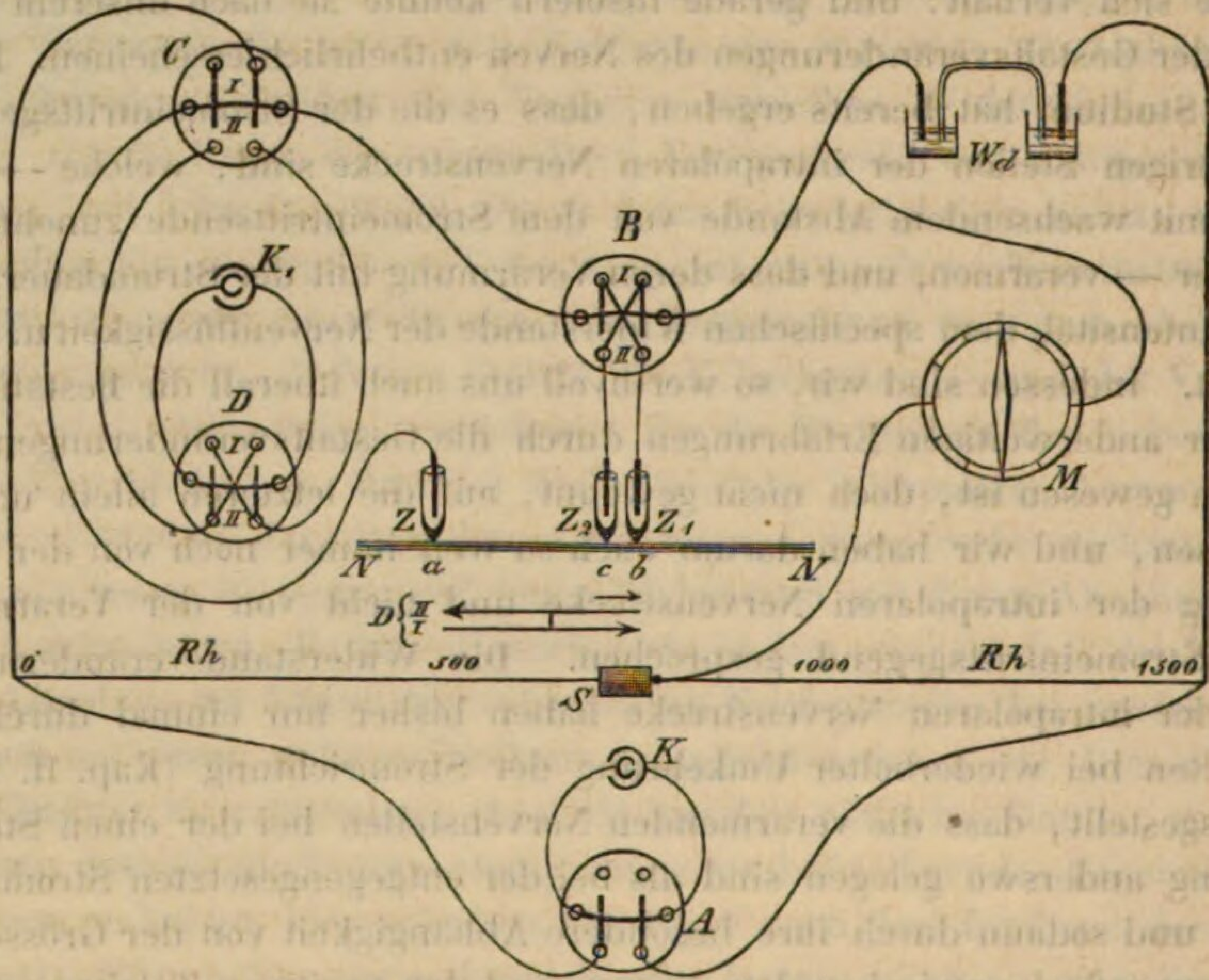


Fig. 20.

laufes den Zuleitungsröhren aufgelagerten Nerven N unter dem Einflusse des Stromes von K erfährt. Ist aber, nachdem K (durch Umlegen der Wippe A) geöffnet ist, die Wippe C in die Lage II gebracht, so durchsetzt der Strom von K_1 — je nach der Lage der Wippe D in der einen oder der anderen Richtung — die Strecke ab des Nerven N, aber auch nur die Nervenstrecke und Nichts, was sonst noch in unserer neuen Versuchsanordnung der Versuchsanordnung Fig. 1. entspricht. Durch die doppelte Unterbrechung des Kreises der Kette K_1 bei C ist jedes unbeabsichtigte Hereinbrechen des Stromes von K_1 mit Sicherheit verhütet.

In cb ist nun je nach der Richtung, in welcher wir den Strom von K_1 die Strecke ab durchfliessen lassen, und je nach dem Abstande, welchen wir den Thonspitzenkanten von z_2 und z_1 ertheilen, die Stromeintrittsstelle resp. die Stromaustrittsstelle der intrapolaren Nervenstrecke ab in mehr oder weniger grosser Ausdehnung der Prüfung zugänglich; es lassen sich aber die durch den Strom von K_1 in cb gesetzten Widerstandsveränderungen natürlich nur während ihrer Rückbildung nach der Oeffnung von K_1 constatiren. Nach der Auflagerung des Nerven schliessen wir bei der Lage I der Wippe C wiederholt in Zwischenräumen von 5 resp. 10 oder 15 Minuten auf je 3—5 Minuten die Kette K und verfolgen die Wider-

standsveränderungen, welche *cb* sowohl unter dem Einflusse des Stromes von *K* wie in der Zwischenzeit zweier Durchströmungen erfährt. Darauf lassen wir in der Zwischenzeit zweier Durchströmungen von *cb*, indem wir die Wippe *C* in die Lage *II* bringen, die Strecke *ab* vom Strome von K_1 durchflossen werden und setzen, nachdem wir am Ende der Zwischenzeit die Wippe *C* in die Lage *I* zurückgeführt haben, die 3—5 Min. langen Durchströmungen von *cb*, wie vorher, fort. Man übersieht, dass alsdann aus den Abweichungen, welche der anfängliche Widerstand der Strecke *cb* und die Widerstandsveränderungen dieser Strecke, während sie vom Strome von *K* durchflossen ist, unmittelbar nach der Oeffnung von K_1 gegen sonst darbieten, die durch den Strom von K_1 in *cb* herbeigeführte Widerstandsveränderung und ihre Zurückbildung sich entnehmen lassen.

Um uns von der Fehlerquelle der inneren Polarisation zu befreien, stellen wir die Verbindungen von *K* und K_1 mit der übrigen Versuchsanordnung stets in der Weise her, wie es Fig. 20. für den Fall Daniell'scher Ketten zeigt: durch den kurzen Pfeil ist die Richtung des Stromes von *K* in *cb*, durch die langen Pfeile für die beiden Lagen der Wippe *D* die Richtung des Stromes von K_1 in *ab* angegeben. Je nachdem *cb* die Stromeintrittsstelle oder die Stromaustrittsstelle der Strecke *ab* ist, muss dann in Folge der durch den Strom von K_1 herbeigeführten inneren Polarisation von *cb*, weil diese dem Strome von *K* in *cb* gleich resp. entgegengesetzt gerichtet ist, der Widerstand von *cb* unmittelbar nach der Durchströmung von *ab* gegen sonst verringert resp. vergrössert und darauf, während der Strom von *K cb* durchfliesst, in der Zunahme resp. Abnahme begriffen erscheinen. Es wird daher, wenn gerade die entgegengesetzten Abweichungen im Verhalten des Widerstandes von *cb*, wie wir erwarten dürfen, als Folgen der voraufgegangenen Durchströmung von *ab* zur Beobachtung kommen, von einer Täuschung durch die innere Polarisation bei den Ergebnissen keine Rede sein können.

Versuch 124.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 4 Daniell's. — Wippe *B* in Lage *I*; Wippe *C* in Lage *I*; Wippe *D* in Lage *II*.

9 *h*. 37 *m*. Mittelgrosser Frosch ++.
42 *m*. Ischiadicus aufgelegt.
10 *h*. 6 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 700.
Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, an die Hemmung. Der Widerstand nimmt zu.
7 *m*. 870.
9 *m*. 890.
11 *m*. 907. *K* geöffnet. — Spurweise Nadelablenkung, Strom von *b* nach *c* anzeigend.
16 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 870.
Die Nadel bleibt anfangs auf Null, geht dann aber, Zunahme des Widerstandes anzeigend, vor.

10 *h*. 17 *m*. 895.
19 *m*. 920.
21 *m*. 935. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h*. 11 *m*.
26 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 900.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 3° aus. Der Widerstand nimmt zu.
27 *m*. 915.
29 *m*. 942.
31 *m*. 960. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h*. 11 *m*.
36 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 915.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 4° aus. Der Widerstand nimmt zu.
37 *m*. 930. Empfindlichkeit: der Verschiebung von *S* um 10mm
39 *m*. 957. entspricht const. Ablenkung der Nadel von fast 3°.
41 *m*. 975. *K* geöffnet und Wippe *C* in Lage *II* gebracht.
46 *m*. Wippe *C* in Lage *I* gebracht u. *K* geschlossen. Schieber auf 930.
Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 52° aus. Der Widerstand nimmt ab.
47 *m*. 977.
49 *m*. 972. Jetzt nimmt der Widerstand zu.
51 *m*. 980. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h*. 11 *m*.
56 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 970.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 9° aus. Der Widerstand nimmt zu.
57 *m*. 960.
59 *m*. 985.

11 *h*. 1 *m*. 1000. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h*. 11 *m*.
6 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 960.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 2° aus. Der Widerstand nimmt zu.
7 *m*. 967.
9 *m*. 992.
11 *m*. 1007. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h*. 11 *m*.
16 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 965.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 2° aus. Der Widerstand nimmt zu.
17 *m*. 975.
19 *m*. 1000.
21 *m*. 1015. *K* geöffnet u. Wippe *C* in Lage *II* gebracht. Es ist aber schon vorher Wippe *D* in Lage *I* gebracht worden.
26 *m*. Wippe *C* in Lage *I* gebracht u. *K* geschlossen. Schieber auf 970.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 28° aus. Der Widerstand nimmt zu.
27 *m*. 940.
29 *m*. 965.
31 *m*. (?) *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h*. 11 *m*.
36 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 940.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 2° aus. Der Widerstand nimmt zu.
37 *m*. 957.
39 *m*. 982.
41 *m*. 1000. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h*. 11 *m*.
46 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 955.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 4° aus. Der Widerstand nimmt zu.
47 *m*. 962.
49 *m*. 990.
51 *m*. 1000. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h*. 11 *m*.
56 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 960.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 4° aus. Der Widerstand nimmt zu.

11 *h.* 57 *m.* 967.
59 *m.* 987.

12 *h.* 1 *m.* 995. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h.* 11 *m.*
6 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 965.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 6° aus. Der Widerstand nimmt zu.
7 *m.* 967.
9 *m.* 987.
11 *m.* 997. *K* geöffnet u. Wippe *C* in Lage *II* gebracht. Es ist aber bereits vorher Wippe *D* in Lage *II* gebracht worden.
16 *m.* Wippe *C* in Lage *I* gebracht u. *K* geschlossen. Schieber auf 970.
Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 46° aus. Der Widerstand nimmt ab.
17 *m.* 1025.
19 *m.* 1020. Jetzt nimmt der Widerstand zu.
21 *m.* 1025. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h.* 11 *m.*
26 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 1025.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 23° aus. Der Widerstand nimmt zu.
27 *m.* 1000.
29 *m.* 1022.
31 *m.* 1032. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h.* 11 *m.*
36 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 1000.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 8° aus. Der Widerstand nimmt zu.
37 *m.* 1000.
39 *m.* 1020.
41 *m.* 1025. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h.* 11 *m.*
46 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 1000.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 10° aus. Der Widerstand nimmt zu.
47 *m.* 995.
49 *m.* 1012.
51 *m.* 1022. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h.* 11 *m.*
56 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 1000.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 9° aus. Der Widerstand nimmt zu.
57 *m.* 995.
59 *m.* 1012.

1 *h.* 1 *m.* 1025. *K* geöffnet u. Wippe *C* in Lage *II* gebracht. Es ist aber bereits vorher Wippe *D* in Lage *I* gebracht worden.
6 *m.* Wippe *C* in Lage *I* gebracht u. *K* geschlossen. Schieber auf 1000.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 60° aus. Der Widerstand nimmt zu.
7 *m.* 935.
9 *m.* 960.
11 *m.* 980. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h.* 11 *m.*
16 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 1000.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 46° aus. Der Widerstand nimmt zu.
17 *m.* 955.
19 *m.* 982.
21 *m.* 997. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h.* 11 *m.*
26 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 1000.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 39° aus. Der Widerstand nimmt zu.
27 *m.* 960.
29 *m.* 985.
31 *m.* 997. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h.* 11 *m.*
36 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 1000.

Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 37° aus. Der Widerstand nimmt zu.

1 *h*. 37 *m*. 965.
39 *m*. 987.
41 *m*. 997. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 10 *h*. 11 *m*.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 32^{mm}$; $bc = 3^{mm}$; $aw = 17^{mm}$; $bm = 13^{mm}$; *o* zwischen *a* und *c*; $oc = 13^{mm}$. — Nach der Beendigung des Versuches ist der Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Versuch 125.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 4 Daniell's. — Wippe *B* in Lage *I*; Wippe *C* in Lage *I*; Wippe *D* in Lage *I*.

9 *h*. 0 *m*. Mittelgrosser Frosch ++.
5 *m*. Ischiadicus aufgelegt.
16 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 850.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 60° aus. Der Widerstand nimmt ab.
17 *m*. 755.
19 *m*. 740. Der Widerstand verändert sich nicht merklich bis
21 *m*. wo *K* geöffnet wird. — Nadelausschlag: c. 5°, Strom von *b* nach *c* anzeigend.
26 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 750.
Die Nadel bleibt auf Null. Der Widerstand nimmt ab.
27 *m*. 740.
29 *m*. 730. Der Widerstand nimmt noch spurweise ab bis
31 *m*. wo *K* geöffnet wird. — Nadelausschlag wie 9 *h*. 21 *m*.
36 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 750.
Die Nadel bleibt unbewegt. Der Widerstand nimmt ab.
37 *m*. 740.
39 *m*. 735. Der Widerstand nimmt spurweise zu bis
41 *m*. wo *K* geöffnet wird. — Nadelausschlag wie 9 *h*. 21 *m*.
46 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 750.
Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 2° aus. Der Widerstand nimmt ab.
47 *m*. 750.
49 *m*. 745. Der Widerstand nimmt jetzt zu.
51 *m*. 750. *K* geöffnet. — Nadelausschlag wie 9 *h*. 21 *m*.
56 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 750.
Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 3° aus. Der Widerstand nimmt zu.
57 *m*. 755. Empfindlichkeit: der Verschiebung von *S* um 10^{mm}
59 *m*. 757. entspr. const. Ablenkung der Nadel von 4°.
10 *h*. 1 *m*. 762. *K* geöffnet u. Wippe *C* in Lage *II* gebracht.
6 *m*. Wippe *C* in Lage *I* gebracht u. *K* geschlossen. Schieber auf 750.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, an die Hemmung. Der Widerstand nimmt zu.
7 *m*. 642.
9 *m*. 667.
11 *m*. 685. *K* geöffnet. — Nadelausschlag: c. 9° in der bisherigen Richtung.
16 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 700.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 6° aus. Der Widerstand nimmt zu.
17 *m*. 700.
19 *m*. 705.
21 *m*. 712. *K* geöffnet. — Nadelausschlag: 8° wie bisher.
26 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 700.
Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 4° aus. Der Widerstand nimmt zu.

10 *h*. 27 *m*. 720.
29 *m*. 730.
31 *m*. 735. *K* geöffnet. — Nadelausschlag: $6^1/_2{}^0$ wie bisher.
36 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 700.
Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 22° aus. Der Widerstand nimmt zu.
37 *m*. 740.
39 *m*. 747.
41 *m*. 753. *K* geöffnet und Wippe *C* in Lage *II* gebracht.
46 *m*. Wippe *C* in Lage *I* gebracht u. *K* geschlossen. Schieber auf 700.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 38° aus. Der Widerstand nimmt zu.
47 *m*. 680.
49 *m*. 700.
51 *m*. 715. *K* geöffnet. — Nadelausschlag: 10° wie bisher.
56 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 700.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, spurweise aus. Der Widerstand nimmt zu.
57 *m*. 730.
59 *m*. 740.
11 *h*. 1 *m*. 745. *K* geöffnet. — Nadelausschlag: 8° wie bisher.
6 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 700.
Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 40° aus. Der Widerstand nimmt zu.
7 *m*. 745.
9 *m*. 760.
11 *m*. 765. *K* geöffnet. — Nadelausschlag: 7° wie bisher.
16 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 750.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, spurweise aus. Der Widerstand nimmt zu.
17 *m*. 765.
19 *m*. 777.
21 *m*. 783. *K* geöffnet. — Nadelausschlag: $6^1/_2{}^0$ wie bisher.
26 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 800.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 31° aus. Der Widerstand nimmt zu.
27 *m*. 775.
29 *m*. 785.
31 *m*. 790. *K* geöffnet. — Nadelausschlag: 6° wie bisher.
36 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 800.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 55° aus. Der Widerstand nimmt zu.
37 *m*. 765.
39 *m*. 772.
41 *m*. 780. *K* geöffnet. — Nadelausschlag wie 11 *h*. 31 *m*.
46 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 800.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 50° aus. Der Widerstand nimmt zu.
47 *m*. 770.
49 *m*. 780.
51 *m*. 787. *K* geöffnet u. Wippe *C* in Lage *II* gebracht. Es ist aber bereits vorher Wippe *D* in Lage *II* gebracht worden.
56 *m*. Wippe *C* in Lage *I* gebracht u. *K* geschlossen. Schieber auf 800.
Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 10° aus. Der Widerstand nimmt ab.
57 *m*. 820.
59 *m*. 815. Der Widerstand verändert sich jetzt nicht merklich bis
12 *h*. 1 *m*. wo *K* geöffnet wird. — Nadelausschlag: 5° wie bisher.
6 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 800.
Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 18° aus. Der Widerstand nimmt zu.

12 *h*.	7 *m*.	787.
	9 *m*.	802.
	11 *m*.	805. *K* geöffnet. — Nadelausschlag: 7° wie bisher.
	16 *m*.	*K* geschlossen. Schieber auf 800.
		Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 20° aus. Der Widerstand nimmt zu.
	17 *m*.	790.
	19 *m*.	797.
	21 *m*.	802. *K* geöffnet. — Nadelausschlag: $7^1/_2$° wie bisher.
	26 *m*.	*K* geschlossen. Schieber auf 800.
		Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 22° aus. Der Widerstand nimmt zu.
	27 *m*.	787.
	29 *m*.	797.
	31 *m*.	800. *K* geöffnet und Wippe *C* in Lage *II* gebracht.
	46 *m*.	Wippe *C* in Lage *I* gebracht u. *K* geschlossen. Schieber auf 800.
		Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, an die Hemmung. Der Widerstand nimmt ab.
	47 *m*.	915.
	49 *m*.	895. Der Widerstand verändert sich jetzt nicht merklich bis
	51 *m*.	wo *K* geöffnet wird. — Nadelausschlag: 7° wie bisher.
1 *h*.	8 *m*.	*K* geschlossen. Schieber auf 850.
		Die Nadel verharrt auf Null. Der Widerstand nimmt zu.
	10 *m*.	870.
	11 *m*.	875. Der Widerstand verändert sich jetzt nicht merklich bis
	13 *m*.	wo *K* geöffnet wird. — Nadelausschlag: 13° wie bisher.
	26 *m*.	*K* geschlossen. Schieber auf 850.
		Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, spurweise aus. Der Widerstand nimmt zu.
	27 *m*.	862.
	29 *m*.	877. Der Widerstand verändert sich jetzt nicht merklich bis
	31 *m*.	wo *K* geöffnet wird. — Nadelausschlag: 14° wie bisher.
2 *h*.	56 *m*.	*K* geschlossen. Schieber auf 850.
		Die Nadel verharrt auf Null. Der Widerstand nimmt zu.
	57 *m*.	880.
	59 *m*.	885.
3 *h*.	1 *m*.	887. *K* geöffnet u. Wippe *C* in Lage *II* gebracht. Es ist aber bereits vorher Wippe *D* in Lage *I* gebracht worden.
	31 *m*.	Wippe *C* in Lage *I* gebracht u. *K* geschlossen. Schieber auf 850.
		Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 11° aus. Der Widerstand nimmt zu.
	32 *m*.	820.
	34 *m*.	825.
	36 *m*.	826. *K* geöffnet. — Nadelausschlag: 19° wie bisher.
4 *h*.	1 *m*.	*K* geschlossen. Schieber auf 850.
		Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 80° aus. Der Widerstand nimmt zu.
	2 *m*.	775.
	4 *m*.	795.
	6 *m*.	815. *K* geöffnet. — Nadelausschlag: 14° wie bisher.
	58 *m*.	*K* geschlossen. Schieber auf 850.
		Die Nadel schlägt, geringeren Widerstand anzeigend, um 66° aus. Der Widerstand nimmt zu.
	59 *m*.	790. *K* geöffnet.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 25^{mm}$; $bc = 9^{mm}$; $bm = 15^{mm}$; $aw = 18^{mm}$; o zwischen a und c; $oc = 5^{mm}$.

Die Versuche lehren, dass die Stromeintrittsstelle der intrapolaren Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes stets eine Zunahme und

nach der Unterbrechung des Stromes stets eine Abnahme ihres Widerstandes erfährt, die Stromaustrittsstelle hingegen unter dem Einflusse des Stromes stets an Widerstand verliert und nach der Unterbrechung des Stromes stets an Widerstand gewinnt. Unter sonst gleichen Umständen sind alle diese Widerstandsveränderungen desto grösser, je grösser die Stromintensität, die Stromdauer und der specifische Widerstand der Nervenflüssigkeit. Bei verschiedener Länge der der Prüfung unterzogenen Stromeintritts- und Stromaustrittsstelle ($cb = 2^{mm}$ bis $^1/_2$ *ab*) scheinen unter sonst gleichen Umständen die Widerstandsveränderungen der Stromaustrittsstelle ganz allgemein mit der Länge dieser zu wachsen, die Widerstandsveränderungen der Stromeintrittsstelle aber bei grosser Länge dieser Stelle kleiner zu sein als bei geringerer Länge.

Wider unseren Nachweis der Widerstandsabnahme der Stromaustrittsstelle unter dem Einflusse des Stromes könnte man auf Grund unserer weiteren Ermittelungen noch einen Einwand erheben wollen, den wir vortheilhaft sogleich in Betracht ziehen. Weil nämlich in Folge der ersten Durchströmungen von *cb* der Nerv bei *c* als der Eintrittsstelle des Stromes von *K* an Flüssigkeit verarmt und diese Verarmung darauf bei der Durchströmung von *ab*, gleichviel in welcher Richtung dieselbe erfolgt, indem *c* eine mittlere Stelle der intrapolaren Nervenstrecke geworden ist, ganz oder wenigstens fast ganz aufgehoben wird, ist die Widerstandszunahme von *cb* als der Stromeintrittsstelle zwar durch unsere Versuche offenbar a fortiori bewiesen, die Widerstandsabnahme von *cb* als der Stromaustrittsstelle hingegen könnte man für noch nicht gesichert erklären wollen. Der Einwand lässt sich aber damit zurückweisen, dass der Widerstand von *cb*, unmittelbar nachdem *ab* in der Richtung von *a* nach *b* durchströmt worden ist, an absoluter Grösse dem zu allererst bestimmten Widerstande von *cb* oft ansehnlich nachsteht, und dass ferner die Zunahme des Widerstandes von *cb*, während *cb* vom Strome von *K* durchflossen ist, unmittelbar nach der gleich gerichteten Durchströmung von *ab* in der Regel beträchtlicher ist als bei den früheren und bei den späteren Schliessungen von *K*. Auch lässt sich der Einwand noch besonders experimentell widerlegen an den beiden Nerven desselben Frosches. Nachdem wir an dem ersten Nerven sogleich nach dem Tode des Thieres einen der vorbeschriebenen Versuche angestellt haben, lagern wir den zweiten Nerven in ganz derselben Weise wie den ersten Nerven, aber erst dann den Zuleitungsröhren auf, wenn der anfängliche Widerstand des zweiten Nerven nach anderweitigen Versuchen in Folge der Veränderungen des Nerven mit der Zeit den constatirten anfänglichen Widerstand des ersten Nerven würde wesentlich übertreffen müssen. Wir lassen alsdann sofort nach der Auflagerung des Nerven, ohne *K* vorher zu schliessen, *ab* längere Zeit vom

Strome von K_1 in der Richtung von *a* nach *b* durchsetzt werden und bestimmen unmittelbar nach Beendigung dieser Durchströmung den Widerstand von *cb*. Ausnahmslos ergiebt sich dieser jetzt wesentlich kleiner als der zu allererst bestimmte Widerstand von *cb* des ersten Nerven. [1] — Lassen wir bei gleichen Versuchen die Strecke *ab* des zweiten Nerven vom Strome von K_1 in der Richtung von *b* nach *a* durchsetzt werden, so finden wir den Widerstand von *cb* des zweiten Nerven bei seiner ersten Bestimmung viel grösser als den anfänglichen Widerstand von *cb* des ersten Nerven.

§ 2. Von den Widerstandsveränderungen der nicht unmittelbar an den Zuleitungsröhren gelegenen Stellen der intrapolaren Nervenstrecke.

Für die Untersuchung der nicht unmittelbar an den Zuleitungsröhren gelegenen Stellen der intrapolaren Nervenstrecke erweitern wir die Versuchsanordnung Fig. 1. in der Weise, wie es Fig. 21. zeigt [2]. K_1, *C* und *D* sind schon von Fig. 20. her uns bekannt. Die vier gleichen Zuleitungsröh-

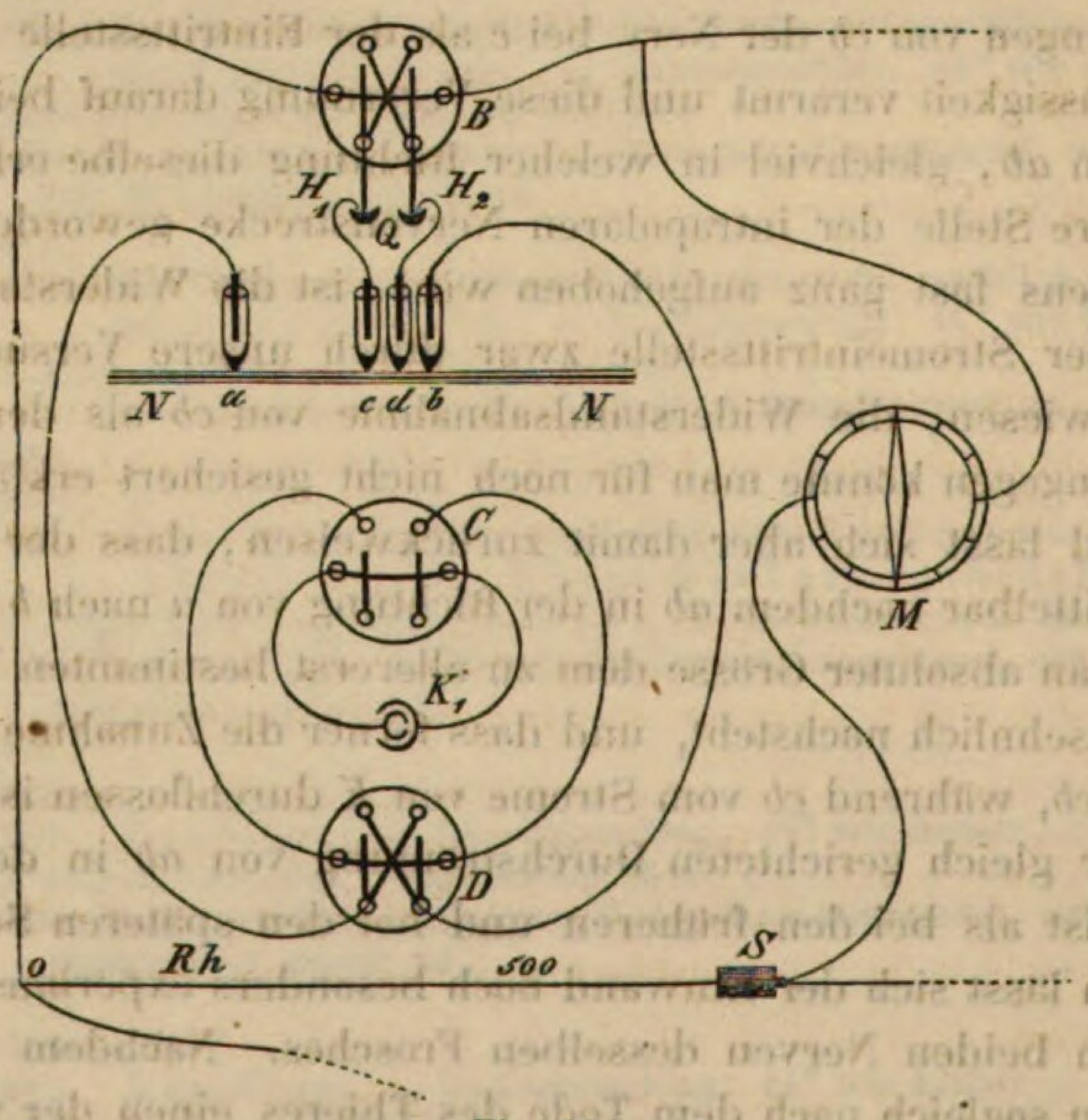


Fig. 21.

ren, welchen jetzt der Nerv mit vier mittleren Stellen seines Verlaufes aufgelagert ist, sind entweder auf demselben Glasstative neben einander

1) So wurde z. B. bei dem zweiten Nerven des für Vers. 124. getödteten Frosches nach 40 Min. langer Durchströmung von *ab* für die Bestimmung des Widerstandes von *cb* die Schieberstellung 690 erforderlich gefunden.

2) Die ungespaltene Strecke und die rechte Hälfte der gespaltenen Strecke des Stromnetzes sind, weil sie gegen Fig. 1. oder Fig. 20. nicht verändert sind, in Fig. 21. nicht ausgeführt.

gereiht, oder es befinden sich die beiden äussersten, dem Schliessungskreise von K_1 angehörigen Zuleitungsröhren einerseits und die beiden mittleren, dem Schliessungskreise von K angehörigen Zuleitungsröhren andererseits auf besonderen Stativen. Man übersieht, dass wir, wenn K_1 geöffnet ist, mittelst der *Wheatstone*'schen Methode die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke *cd* verfolgen und, wenn K geöffnet ist, den Strom von K_1 die Nervenstrecke *ab* durchsetzen lassen können. Dem unbeabsichtigten Hereinbrechen des Stromes von K_1 ist durch die doppelte Unterbrechung des Kreises von K_1 bei C vorgebeugt. Auch ist verhütet, dass, wenn der Strom von K_1 *ab* durchsetzt, die gespaltene Strecke des Stromnetzes eine Nebenschliessung zur Strecke *cd* des Nerven abgiebt: es lassen sich nämlich die beiden mittleren Zuleitungsröhren, bevor K_1 geschlossen wird, durch das Herausheben der durch ein Querholz verbundenen verquickten Kupferhaken H_1 und H_2 aus den beiden Quecksilbernäpfchen Q ganz ausser Verbindung mit der übrigen Versuchsanordnung bringen.

Unser Versuchsverfahren ist zunächst dasselbe wie bei den ersten Versuchen des § 1.: wir schliessen häufig in Zwischenräumen von 5 resp. 10 oder 15 Minuten auf je 3—5 Minuten die Kette K, um die Widerstandsveränderungen zu constatiren, welche *cd* sowohl unter dem Einflusse des Stromes von K wie in der Zwischenzeit zweier Durchströmungen erfährt, und lassen hin und wieder in der Zwischenzeit zweier Durchströmungen von *cd*, nachdem wir die Unterbrechung bei Q hergestellt haben, *ab* vom Strome von K_1 durchsetzt sein. Aus den Abweichungen, welche der anfängliche Widerstand der Strecke *cd* und die Widerstandsveränderungen dieser Strecke, während sie vom Strome von K durchflossen ist, unmittelbar nach der Oeffnung von K_1 gegen sonst darbieten, lassen alsdann die durch den Strom von K_1 in *cd* herbeigeführte Widerstandsveränderung und ihre Zurückbildung sich entnehmen. Indem wir die Strecke *ab* 25—30^{mm} und die Strecke *cd* immer 2^{mm} lang nehmen[1], stellen wir dann Reihen von Versuchen in der Weise an, dass wir *cd* von einem Versuche zum anderen immer mehr von der Stelle *b*, der *cd* zuerst möglichst nahe sich befand, in der Richtung nach *a* hin sich entfernen lassen, bis *cd* etwa in der Mitte von *ab* gelegen ist; wir prüfen so, da durch das Umlegen der Wippe D die *b* benachbarte Hälfte der intrapolaren Nervenstrecke *ab* nach Belieben zur Stromeintrittshälfte oder zur Stromaustrittshälfte sich machen lässt, Stelle für Stelle der ganzen intrapolaren Nervenstrecke auf das Verhalten ihres Widerstandes. Endlich sehen wir, um vor Täuschungen durch die innere

1) Um uns in den empfindlicheren Breiten des Platinrheostaten halten zu können, schalten wir hier, wie überall sonst, wo wir ganz kurze Nervenstrecken auf ihren Widerstand prüfen, nach Bedürfniss zwei oder drei unserer Capillarröhren neben einander als *Wd* ein.

Polarisation uns zu hüten, eine Zunahme des Widerstandes, welche der Versuch ergiebt, erst dann als gesichert an, wenn die innere Polarisation in Folge des Stromes von K_1 und der Strom von K in cd gleich gerichtet gewesen sind, eine Abnahme des Widerstandes hingegen erst dann, wenn jene Polarisation und dieser Strom entgegengesetzt gerichtet gewesen sind.

Versuch 126.

Wd: Capillarröhren I, II und III neben einander. — K: 1 Daniell. — K_1: 4 Grove's. — Der Strom von K tritt immer bei c ein.

1 *h*. 22 *m*. Mittelgrosse Rana esc. ♂.
27 *m*. Ischiadicus aufgelegt.
32 *m*. Bei Oeffnung der Bussole 1^{sc} Ablenkung des Spiegels, Strom von c nach d (im Nerven) anzeigend.
33 *m*. K geschlossen.
10″. 787. Der Widerstand nimmt ab.
45″. 785. Jetzt nimmt der Widerstand zu.
34 *m*. 786. Empfindlichkeit: auf 12^{mm} Verschiebung von S
35 *m*. 790. 5^{sc} Spiegelablenkung.
36 *m*. 794. K geöffnet. — $1/4^{sc}$ Ablenkung wie 1 *h*. 32 *m*.
41 *m*. K geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole hatte sich dieselbe Ablenkung wie 1 *h*. 32 *m*. gezeigt.)
10″. 785,5. Der Widerstand nimmt ab.
42 *m*. 785. Jetzt nimmt der Widerstand zu.
43 *m*. 786,5.
44 *m*. 789,5. K geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie 1 *h*. 32 *m*.
49 *m*. K geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole (wie 1 *h*. 41 m.)
10″. 778. Der Widerstand nimmt zu.
50 *m*. 778,5.
51 *m*. 781.
52 *m*. 782. K geöffnet. — Ablenkung wie 1 *h*. 44 *m*.
57 *m*. K geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 1 *h*. 41 *m*.)
10″. 773,5. Der Widerstand nimmt zu.
58 *m*. 774.
59 *m*. 776,5.
2 *h*. 0 *m*. 779. K geöffnet. — Ablenkung wie 1 *h*. 44 *m*.
5 *m*. K geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 1 *h*. 41 *m*.)
10″. 765. Der Widerstand nimmt zu.
6 *m*. 767.
8 *m*. 770. K geöffnet. Unterbrechung bei Q hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei b ein.
13 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei Q aufgehoben. K geschlossen.
c.15″. 796. Der Widerstand nimmt ab.
14 *m*. 791,5.
15 *m*. 788.
16 *m*. 787,5. K geöffnet. — Spurweise Ablenkung, Strom von d nach c anzeigend.
21 *m*. K geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole $1/2^{sc}$ Ablenkung wie 1 *h*. 32 *m*.)
10″. 769. Der Widerstand nimmt zu.
22 *m*. 771.
23 *m*. 774 (fast).
24 *m*. 776,5. K geöffnet. — $1/4^{sc}$ Ablenkung wie 2 *h*. 16 *m*.
29 *m*. K geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 2 *h*. 21 m.)
10″. 763. Der Widerstand nimmt zu.
30 *m*. 765.
31 *m*. 768.
32 *m*. 770. K geöffnet. — $1/4^{sc}$ Ablenkung wie 2 *h*. 16 *m*.
37 *m*. K geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 2 *h*. 21 *m*.)

2 *h*. 37 *m*. 10″. 756. Der Widerstand nimmt zu.
38 *m*. 759.
39 *m*. 762.
40 *m*. 764. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *b* ein.
45 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
c. 15″. 777. Der Widerstand nimmt ab.
46 *m*. 774. Der Widerstand nimmt jetzt zu.
47 *m*. 776.
48 *m*. 778. *K* geöffnet. $^3/_4{}^{sc}$ Ablenkung wie 2 *h*. 16 *m*.
53 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole $^1/_4{}^{sc}$ Ablenkung wie 1 *h*. 32 *m*.)
10″. 756,5. Der Widerstand nimmt zu.
54 *m*. 760.
55 *m*. 764.
56 *m*. 766,5. *K* geöffnet. — 1^{sc} Ablenkung wie 2 *h*. 16 *m*.
3 *h*. 1 *m*. *K* geschlossen.
10″. 749. Der Widerstand nimmt zu.
2 *m*. 752.
3 *m*. 755,5.
4 *m*. 758, 5. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 2 *h*. 56 *m*.
9 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole keine Ablenkung.)
10″. 745,5. Der Widerstand nimmt zu.
10 *m*. 748,5.
11 *m*. 752,5.
12 *m*. 755,5. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *a* ein.
17 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. K_1 geschlossen.
c. 15″. 737. Der Widerstand nimmt zu.
18 *m*. 741,5.
19 *m*. 746.
20 *m*. 749,5. *K* geöffnet. — $1^1/_4{}^{sc}$ Ablenkung wie 2 *h*. 16 *m*.
25 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole $^1/_3{}^{sc}$ Ablenkung wie 2 *h*. 16 *m*.)
10″. 739. Der Widerstand nimmt zu.
26 *m*. 744,5.
28 *m*. 752,5. *K* geöffnet. — $1^1/_2{}^{sc}$ Ablenkung wie 2 *h*. 16 *m*.
33 *m*. *K* geschlossen (Bei Oeffnung der Bussole wie 3 *h*. 25 *m*.)
10″. 739. Der Widerstand nimmt zu.
34 *m*. 744.
35 *m*. 749.
36 *m*. 753. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 3 *h*. 28 *m*.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $bd = 1^1/_4 - 1^1/_2{}^{mm}$; $cd = 2^{mm}$; $ca = 21^1/_2{}^{mm}$; $co = 9^{mm}$; $oa = 12^1/_2{}^{mm}$; $aw = 12^{mm}$; $bm = 10^{mm}$. — Nach der Beendigung des Versuches ist der Nerv nur noch unterhalb *b* (oder *d*?) mechanisch erregbar.

Versuch 127.

Wd: Capillarröhre I, II und III neben einander. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 4 Grove's. — Der Strom von *K* tritt immer bei *c* ein.

9 *h*. 7 *m*. Mittelgrosse (6 Monate lang aufbewahrte) Rana esc. ††.
14 *m*. Ischiadicus aufgelegt.
27 *m*. *K* geschlossen.
10″. 732,5. Der Widerstand nimmt ab.
28 *m*. 732. Der Widerstand nimmt jetzt zu.
30 *m*. 735.
32 *m*. 739,5. *K* geöffnet. — Fast 2^{sc} Ablenkung, Strom von *d* nach *c* anzeigend.
37 *m*. *K* geschlossen.
10″. 740. Der Widerstand nimmt zu.
38 *m*. 740,5.
40 *m*. 743,2. Empfindlichkeit wie bei Vers. 126.

9 *h.* 42 *m.* 746. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 9 *h.* 32 *m.*
47 *m.* *K* geschlossen.
10 *m.* 742. Der Widerstand nimmt zu.
48 *m.* 744.
50 *m.* 746.
52 *m.* 748. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *b* ein.
57 *m.* K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
c. 15″. 769. Der Widerstand nimmt ab.
58 *m.* 763,5.
10 *h.* 0 *m.* 758.
2 *m.* 756. *K* geöffnet. — 2^{sc} Ablenkung wie 9 *h.* 32 *m.*
7 *m.* *K* geschlossen.
10″. 745. Der Widerstand nimmt zu.
8 *m.* 747.
10 *m.* 749. Der Widerstand verändert sich jetzt nicht merklich bis
12 *m.* wo *K* geöffnet wird. — Ablenkung wie 10 *h.* 2 *m.*

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $bd = 1\frac{1}{2}$—2^{mm}; $cd = 2\frac{1}{2}^{mm}$; $ac = 22^{mm}$; $co = 11^{mm}$; $oa = 11^{mm}$; $aw = 16^{mm}$; $bm = 13^{mm}$. — Nach der Beendigung des Versuches ist der Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Versuch 128.

Wd: Capillarröhren I, II und III neben einander. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 4 Grove's. — Der Strom von *K* tritt immer bei *c* ein.
10 *h.* 25 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ♂.
30 *m.* Ischiadicus aufgelegt.
38 *m.* *K* geschlossen.
10″. 794. Der Widerstand nimmt zu.
39 *m.* 796.
41 *m.* 806. *K* geöffnet. — 1½^{sc} Ablenk., Strom von *d* nach *c* anzeigend.
46 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole besteht noch spurweise Ablenkung.)
10″. 789. Der Widerstand nimmt zu.
47 *m.* 793.
49 *m.* 802,5. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 10 h. 41 *m.*
54 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole noch ¼^{sc} Ablenkung.)
10″. 782. Der Widerstand nimmt zu.
55 *m.* 787,5. Empfindlichkeit wie bei Vers. 126.
57 *m.* 794,5. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 10 *h.* 41 *m.*
11 *h.* 2 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole noch ⅓^{sc} Ablenkung.)
10″. 768. Der Widerstand nimmt zu.
3 *m.* 773,5.
5 *m.* 778,5. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *b* ein.
10 *m.* K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
c. 15″. 771. Der Widerstand nimmt zuerst spurweise ab u. dann zu, so dass
11 *m.* 771.
12 *m.* 772.
13 *m.* 775. *K* geöffnet. — 2^{sc} Ablenkung wie 10 *h.* 41 *m.*
18 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole noch 1¼^{sc} Ablenkung.)
10″. 756. Der Widerstand nimmt zu.
19 *m.* 762.
21 *m.* 770. *K* geöffnet. — Fast 2½^{sc} Ablenkung wie 10 *h.* 41 m.
26 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 11 *h.* 18 *m.*)
10″. 748. Der Widerstand nimmt zu.
27 *m.* 756.
29 *m.* 762. *K* geöffnet. — 2^{sc} Ablenkung wie 10 *h.* 41 *m.*
34 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 11 *h.* 18 *m.*)

11 *h*. 34 *m*. 10″. 745. Der Widerstand nimmt zu.
35 *m*. 751.
37 *m*. 756,5. *K* geöffnet. — $2\frac{1}{4}^{sc}$ Ablenkung wie 10 *h*. 41 *m*.
42 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole noch 1^{sc} Ablenkung.)
10″. 738. Der Widerstand nimmt zu.
43 *m*. 745.
45 *m*. 750,5. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *b* ein.
50 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
c. 15″. 746. Der Widerstand nimmt rasch ab, so dass 744, und dann zu.
51 *m*. 747.
53 *m*. 759,5. *K* geöffnet. — Fast 3^{sc} Ablenkung wie 10 *h*. 41 *m*.
58 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 11 *h*. 18 *m*.)
10″. 737. Der Widerstand nimmt zu.
59 *m*. 747.
12 *h*. 1 *m*. 755. *K* geöffnet. — $2\frac{1}{4}^{sc}$ Ablenkung wie 10 *h*. 41 *m*.
6 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 11 *h*. 18 *m*.)
10″. 735. Der Widerstand nimmt zu.
7 *m*. 743.
9 *m*. 750. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 12 *h*. 1 *m*.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $bd = 3^{mm}$; $cd = 2^{mm}$; $ac = 19^{mm}$; $co = 10^{mm}$; $ao = 9^{mm}$; $aw = 15^{mm}$; $bm = 12^{mm}$. — Nach der Beendigung des Versuches ist der Nerv nur noch unterhalb *b* mechanisch erregbar.

Versuch 129.

Wd: Capillarröhren I, II und III neben einander. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 4 Grove's. — Der Strom von *K* tritt immer bei *c* ein.
9 *h*. 47 *m*. Mittelgrosser (Winter-) Frosch ++.
54 *m*. Ischiadicus aufgelegt.
10 *h*. 3 *m*. *K* geschlossen.
10″. 682. Der Widerstand nimmt zu.
4 *m*. 688.
6 *m*. 701. *K* geöffnet. — 2^{sc} Ablenkung, Strom von *d* nach *c* anzeigend.
11 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole besteht noch $\frac{1}{2}^{sc}$ Ablenkung.)
10″. 702,5. Der Widerstand nimmt zu.
12 *m*. 708,5.
14 *m*. 717,5. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 10 *h*. 6 *m*.
19 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 10 *h*. 11 *m*.)
10″. 714,5. Der Widerstand nimmt zu.
20 *m*. 719. Empfindlichkeit wie bei Vers. 126.
22 *m*. 726,3. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 10 *h*. 6 *m*.
27 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 10 *h*. 11 *m*.)
10″. 721,5. Der Widerstand nimmt zu.
28 *m*. 725,5.
30 *m*. 731. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom tritt bei *b* ein.
35 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
c. 15″. 731,5. Der Widerstand nimmt zu.
36 *m*. 733,2.
38 *m*. 735,5. *K* geöffnet. — Fast $2\frac{1}{2}^{sc}$ Ablenkung wie 10 *h*. 6 *m*.
43 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole noch $\frac{3}{4}^{sc}$ Ablenkung.)
10″. 729,5. Der Widerstand nimmt zu.
44 *m*. 731,5.
47 *m*. 735,3. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 10 *h*. 38 *m*.
52 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 10 *h*. 43 *m*.)
10″. 728,5. Der Widerstand nimmt zu.
53 *m*. 731,2.
55 *m*. 734,5. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 10 *h*. 38 *m*.

11 *h*. 0 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole besteht noch fast 1^{sc} Ablenkung.)
10″. 728. Der Widerstand nimmt zu.
1 *m*. 729,5.
3 *m*. 733. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *b* ein.
8 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
c. 15″. 729,5. Der Widerstand nimmt zu.
9 *m*. 730,5.
11 *m*. 732,8. *K* geöffnet. — 2$^3/_4$^{sc} Ablenkung wie 10 *h*. 6 *m*.
16 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 11 *h*. 0 *m*.)
10″. 725. Der Widerstand nimmt zu.
17 *m*. 727.
19 *m*. 730,5. *K* geöffnet. — 2$^1/_2$^{sc} Ablenkung wie 10 *h*. 6 *m*.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $bd = 6^1/_2$ mm; $cd = 2$ mm; $ac = 16$ mm; $co = 14$ mm; $ao = 2$ mm; $aw = 28$ mm; $bm = 11$ mm.

Versuch 130.

Wd: Capillarröhren I, II und III neben einander. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 4 Grove's. — Der Strom von *K* tritt immer bei *c* ein.

9 *h*. 2 *m*. Mittelgrosse Rana esc. ++.
8 *m*. Ischiadicus aufgelegt.
13 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole 1^{sc} Ablenkung, Strom von *c* nach *d* anzeigend.)
10″. 813. Der Widerstand nimmt zu.
14 *m*. 819. Empfindlichkeit wie bei Vers. 126.
16 *m*. 838. *K* geöffnet. — $^3/_4$^{sc} Ablenkung, Strom von *d* nach *c* anzeigend.
21 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole fast $^1/_2$^{sc} Ablenkung wie 9 *h*. 13 *m*.)
10″. 823. Der Widerstand nimmt zu.
22 *m*. 832.
24 *m*. 847,5. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 9 *h*. 16 *m*.
29 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 9 *h*. 21 *m*.)
10″. 823. Der Widerstand nimmt zu.
30 *m*. 831,5.
32 *m*. 843,5. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 9 *h*. 16 *m*.
37 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 9 *h*. 21 *m*.)
10″. 819. Der Widerstand nimmt zu.
38 *m*. 825,5.
40 *m*. 835,5. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *b* ein.
45 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
c. 15″. 806,5. Der Widerstand nimmt zu.
46 *m*. 814.
48 *m*. 828. *K* geöffnet. — 1$^1/_2$^{sc} Ablenkung wie 9 *h*. 16 *m*.
53 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole spurweise Ablenkung wie 9 *h*. 21 *m*.)
10″. 801. Der Widerstand nimmt zu.
54 *m*. 812,5.
56 *m*. 825. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 9 *h*. 48 *m*.
10 *h*. 1 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 9 *h*. 53 *m*.)
10″. 801,5. Der Widerstand nimmt zu.
2 *m*. 811,5.
4 *m*. 823. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 9 *h*. 48 *m*.
9 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole c. $^1/_4$^{sc} Ablenk. wie 9 *h*. 21 *m*.)
10″. 803. Der Widerstand nimmt zu.
10 *m*. 810,5.

10 *h.* 12 *m.* 822. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *a* ein.
17 *m.* K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
c.15″. 786. Der Widerstand nimmt zu.
18 *m.* 795.
20 *m.* 810. *K* geöffnet. — 2^{sc} Ablenkung wie 9 *h.* 16 *m.*
25 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole besteht noch $1/4^{sc}$ Ablenkung wie 9 *h.* 16 *m.*)
10″. 791. Der Widerstand nimmt zu.
26 *m.* 800.
28 *m.* 811,5. *K* geöffnet. — $1\frac{1}{2}^{sc}$ Ablenkung wie 9 *h.* 16 *m.*
33 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole noch spurweise Ablenkung wie 9 *h.* 16 *m.*)
10″. 790,5. Der Widerstand nimmt zu.
34 *m.* 799.
36 *m.* 809,5. *K* geöffnet. — 2^{sc} Ablenkung wie 9 *h.* 16 *m.*

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $bd = 4^{mm}$; $cd = 2^{mm}$; $ac = 19^{mm}$; $co = 12^{mm}$; $oa = 7^{mm}$; $aw = 13^{mm}$; $bm = 9^{mm}$. — Nach der Beendigung des Versuches ist der Nerv nur noch unterhalb *b* mechanisch erregbar.

Versuch 131.

Wd: Capillarröhren I, II und III neben einander. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 4 Grove's. — Der Strom von *K* tritt immer bei *d* ein.

2 *h.* 2 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ++.
7 *m.* Ischiadicus aufgelegt.
17 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole $2\frac{1}{2}^{sc}$ Ablenkung, Strom von *c* nach *d* anzeigend.)
20″. 820. Der Widerstand nimmt zu.
18 *m.* 838.
20 *m.* 865. *K* geöffnet. — $3\frac{1}{4}^{sc}$ Ablenkung wie 2 *h.* 17 *m.*
25 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 2 *h.* 17 *m.*)
10″. 849. Der Widerstand nimmt zu.
26 *m.* 868.
28 *m.* 886. *K* geöffnet. — 4^{sc} Ablenkung wie 2 *h.* 17 *m.*
33 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 2 *h.* 17 *m.*)
10″. 868. Der Widerstand nimmt zu.
34 *m.* 881.
36 *m.* 892,5. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *b* ein.
41 *m.* K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
c.15″. 871. Der Widerstand nimmt zu.
42 *m.* 879.
44 *m.* 895,5. *K* geöffnet. — $2\frac{1}{4}^{sc}$ Ablenkung wie 2 *h.* 17 *m.*
49 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole noch 2^{sc} Ablenkung wie 2 *h.* 17 *m.*)
10″. 877. Der Widerstand nimmt zu.
50 *m.* 887,5.
52 *m.* 898. *K* geöffnet. — $2\frac{1}{2}^{sc}$ Ablenkung wie 2 *h.* 17 *m.*
57 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 2 *h.* 49 *m.*)
10″. 874. Der Widerstand nimmt zu.
58 *m.* 882.
3 *h.* 0 *m.* 893,5. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 2 *h.* 52 *m.*
5 *m.* *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 2 *h.* 49 *m.*)
10″. 870. Der Widerstand nimmt zu.
6 *m.* 879.
8 *m.* 886. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *a* ein.
13 *m.* K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.

3 *h*. 13 *m*.c.15″.862,5. Der Widerstand nimmt zu.
14 *m*. 868.
16 *m*. 878. *K* geöffnet. — 2^{sc} Ablenkung wie 2 *h*. 17 *m*.
21 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole noch 2^{sc} Ablenkung.)
10″. 862.
22 *m*. 868.
24 *m*. 879. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 3 *h*. 16 *m*.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $bd = 13^{mm}$; $cd = 2^{mm}$; $ac = 15^{mm}$; $co = 7^{mm}$; $oa = 8^{mm}$; $aw = 12^{mm}$; $bm = 9^{mm}$. — Nach der Beendigung des Versuches ist der Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Versuch 132.

Wd: Capillarröhren I, II und III neben einander. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 1 Daniell. — Der Strom von *K* tritt immer bei *c* ein.

9 *h*. 38 *m*. Mittelgrosse Rana esc. ++.
44 *m*. Ischiadicus aufgelegt.
50 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole spurweise Ablenkung, Strom von *d* nach *c* anzeigend.)
10″. 798. Der Widerstand nimmt zu.
51 *m*. 805.
53 *m*. 833. *K* geöffnet. — $2/3^{sc}$ Ablenkung wie 9 *h*. 50 *m*.
58 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole $1/4^{sc}$ Ablenkung wie 9 *h*. 50 *m*.)
10″. 854. Der Widerstand nimmt zu.
59 *m*. 863. Empfindlichkeit: auf 3^{mm} Verschiebung von *S* 1^{sc} Spiegelablenkung.
10 *h*. 1 *m*. 880. *K* geöffnet. — Fast 1^{sc} Ablenkung wie 9 *h*. 50 *m*.
6 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 9 *h*. 58 *m*.)
10″. 882. Der Widerstand nimmt zu.
7 *m*. 891.
9 *m*. 901,5. *K* geöffnet. — 1^{sc} Ablenkung wie 9 *h*. 50 *m*.
14 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 9 *h*. 58 *m*.)
10″. 897. Der Widerstand nimmt zu.
15 *m*. 902,5.
17 *m*. 911. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 10 *h*. 9 *m*.
22 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 9 *h*. 58 *m*.)
10″. 903. Der Widerstand nimmt zu.
23 *m*. 907,5.
25 *m*. 916. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *b* ein.
30 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
c.15″. 907. Der Widerstand nimmt zu.
31 *m*. 910,5.
33 *m*. 916,5. *K* geöffnet. — $1/2^{sc}$ Ablenkung wie 9 *h*. 50 *m*.
38 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole noch spurweise Ablenkung.)
10″. 905. Der Widerstand nimmt zu.
39 *m*. 910,5.
41 *m*. 915. *K* geöffnet. — $2/3^{sc}$ Ablenkung wie 9 *h*. 50 *m*.
46 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 9 *h*. 58 *m*.)
10″. 904. Der Widerstand nimmt zu.
47 *m*. 907,5.
49 *m*. 912. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *b* ein.
54 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
c.15″. 906. Der Widerstand verändert sich anfangs nicht merklich und nimmt dann zu.
55 *m*. 907,5.
57 *m*. 910. *K* geöffnet. — Ablenkung wie 10 *h*. 41 *m*.
11 *h*. 2 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 9 *h*. 58 *m*.)

11 *h*. 2 *m*. 10″.	894.	Der Widerstand nimmt zu.
3 *m*.	899.	
5 *m*.	905.	*K* geöffnet. — Ablenkung wie 10 *h*. 41 *m*.
10 *m*.		*K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 9 *h*. 58 *m*.)
10″.	892.	Der Widerstand nimmt zu.
11 *m*.	896.	
13 *m*.	900.	*K* geöffnet. — Ablenkung wie 10 *h*. 41 *m*.
18 *m*.		*K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 9 *h*. 58 *m*.)
10″.	890.	Der Widerstand nimmt zu.
19 *m*.	893.	
21 *m*.	898.	*K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *a* ein.
26 *m*.		K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
c.15″.	879.	Der Widerstand nimmt zu.
27 *m*.	885.	
29 *m*.	891.	*K* geöffnet. — Ablenkung wie 10 *h*. 9 *m*.
34 *m*.		*K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 9 *h*. 58 *m*.)
10″.	879.	Der Widerstand nimmt zu.
35 *m*.	882.	
37 *m*.	888.	*K* geöffnet. — Ablenkung wie 10 *h*. 9 *m*.
42 *m*.		*K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 9 *h*. 58 *m*.)
10″.	875.	Der Widerstand nimmt zu.
43 *m*.	880.	*K* geöffnet. — Ablenkung wie 9 *h*. 53 *m*.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $bd = 1^1/_2$—2^{mm}; $cd = 2^{mm}$; $ac = 22^{mm}$; $co = 12^{mm}$; $ao = 10^{mm}$; $aw = 14^{mm}$; $bm = 9^{mm}$. — Nach Beendigung des Versuches ist der Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Wenn der Strom von 4 Grove's 5 Min. lang *ab* durchsetzt, lassen sich die Ergebnisse der Versuche folgendermassen zusammenfassen. Tritt der Strom von K_1 bei *b* ein und liegt *cd* in der Nähe von *b*, so erfährt der Widerstand von *cd* durch die Durchströmung von *ab* eine Zunahme und nimmt nach der Durchströmung von *ab* ab. Jene Zunahme und diese Abnahme sind, wenn *cd* dicht bei *b* gelegen ist, recht beträchtlich, aber doch immer wesentlich kleiner, als wo bei den Versuchen des § 1. unter sonst gleichen Umständen die Stromeintrittsstelle selbst geprüft worden ist; und sie nehmen mit dem Wachsen des Abstandes zwischen *d* und *b* rasch an Grösse ab. Manchmal schon bei 4^{mm}, manchmal aber erst bei 8^{mm} Abstand zwischen *d* und *b* ist eine Zunahme des Widerstandes von *cd* durch die Durchströmung von *ab* nicht mehr zu constatiren: der Widerstand von *cd* zeigt sich dann durch die Durchströmung von *ab* gar nicht beeinflusst oder gar ein wenig verringert. Tritt der Strom von K_1 bei *b* aus und liegt *cd* in der Nähe von *b*, so erfährt der Widerstand von *cd* durch die Durchströmung von *ab* eine Abnahme und nimmt nach der Durchströmung von *ab* ein wenig zu. Jene Abnahme und diese Zunahme nehmen wiederum mit dem Wachsen des Abstandes zwischen *d* und *b* rasch an Grösse ab und sind, selbst wenn *cd* dicht bei *b* gelegen ist, wesentlich kleiner, als wo bei den Versuchen des § 1. unter sonst gleichen Umständen die Stromaustrittsstelle selbst geprüft worden ist. Bei 3—4^{mm} Abstand zwischen *d* und *b* ist hier in der Regel keine andere Widerstandsveränderung von *cd* zu constatiren,

als wenn *cd* eine mittlere Stelle der intrapolaren Nervenstrecke gewesen wäre. Wenn nämlich endlich *d* weiter als 4 resp. 8^{mm} vom Stromeintrittsende oder weiter als 4^{mm} vom Stromaustrittsende der intrapolaren Nervenstrecke gelegen ist, zeigt sich als Folge der Durchströmung von *ab* regelmässig eine geringe Abnahme des Widerstandes von *cd*. — Bei demselben ganz geringen Abstande zwischen *d* und *b* ist die Widerstandsabnahme von *cd*, wenn *b* die Austrittsstelle des Stromes von K_1 ist, in der Regel kleiner, als die Widerstandszunahme von *cd*, wenn *b* die Eintrittsstelle des Stromes von K_1 ist.

Bei verschiedener Intensität und bei verschiedener Dauer des die Nervenstrecke *ab* durchsetzenden Stromes und bei verschiedenem specifischen Widerstande der Nervenflüssigkeit sind die Zunahme des Widerstandes in der Stromeintrittsgegend und die Abnahme des Widerstandes in der Stromaustrittsgegend im Allgemeinen desto beträchtlicher und in desto grösserer Entfernung vom Stromeintritts- resp. Stromaustrittsende der intrapolaren Nervenstrecke noch zu constatiren, je grösser die Stromintensität, die Stromdauer und der specifische Widerstand der Nervenflüssigkeit sind. Man muss aber, um zuverlässige Ergebnisse zu gewinnen, für die vergleichenden Versuche sogleich grössere Verschiedenheiten in der Stromintensität u. s. w. setzen, weil unsere Versuchsmethode geringe Verschiedenheiten der Widerstandsveränderungen zu constatiren nicht gestattet. Auch empfiehlt es sich, wenn die Intensität des *ab* durchsetzenden Stromes nur gering oder der specifische Widerstand der Nervenflüssigkeit sehr gross ist, bei einem Daniell in der ungespaltenen Strecke des Stromnetzes noch eine Kupferdraht-Nebenschliessung zum Platinrheostaten anzubringen (vgl. o. S. 117.), um die durch den Strom von *K* in *cd* herbeigeführten Widerstandsveränderungen zu verringern.

Ob die Widerstandsabnahme der mittleren Stellen der intrapolaren Nervenstrecke je nach der Lage der Stellen eine verschiedene ist, darüber geben unsere Versuche der schon erwähnten Unvollkommenheit der Methode wegen keine Auskunft. Um hier weiter zu kommen, müssten die Methode der momentanen Schliessungen und das Oppositionsverfahren zu Hülfe gerufen werden, welche beide zur Zeit, als die in Rede stehende Untersuchung angestellt wurde, noch nicht ausgebildet waren. Bei unseren Versuchen zeigt sich, wenn *cd* eine mittlere Stelle von *ab* ist, gleichviel wo des Genaueren *cd* gelegen ist, in Folge der Durchströmung von *ab* in der Regel eine unbeträchtliche Abnahme des Widerstandes von *cd*, welche etwas grösser ist, wenn der Strom von K_1 und der Strom von *K* in *cd* entgegengesetzt, als wenn beide Ströme gleich gerichtet sind. Nur hin und wieder erscheint, wenn beide Ströme in *cd* gleich gerichtet sind, der Widerstand von *cd* durch die Durchströmung von *ab* ein wenig vergrössert; —

und diese Erscheinung, welche ganz regellos bald an dieser bald an jener mittleren Stelle der Stromeintrittshälfte sowohl wie der Stromaustrittshälfte zur Beobachtung kommt, ist offenbar nur der Fehlerquelle der inneren Polarisation zuzuschreiben.

Soll die Rückbildung der durch den Strom von K an der Eintrittsstelle dieses Stromes in cd herbeigeführten Verarmung, wie sie die Durchströmung von ab veranlasst (vgl. o. S. 347.), als Fehlerquelle auch hier in Betracht kommen, so kann man durch sie begreiflich nur an allen Stellen der intrapolaren Nervenstrecke gleichmässig unsere Ergebnisse in der Weise beeinflusst annehmen, dass von den beobachteten Widerstandsveränderungen, um die wahren Widerstandsveränderungen in Folge des Stromes von K_1 zu erhalten, eine Widerstandsabnahme von gewisser Grösse algebraisch in Abzug zu bringen wäre. Die Verschiedenheit der Widerstandsveränderungen an den verschiedenen Stellen der intrapolaren Nervenstrecke, welche wir aufgefunden haben, bleibt also von der Fehlerquelle durchaus unberührt, und auch die Widerstandsabnahme in der Stromaustrittsgegend liesse sich nach den bezüglichen Ermittelungen im § 1. (s. o. S. 347.) nicht auf Rechnung der Fehlerquelle setzen: nur die beobachtete Widerstandsabnahme der mittleren Stellen der intrapolaren Nervenstrecke könnte jener Rückbildung zugeschrieben werden. Gewiss wird nun auch diese Annahme später streng sich widerlegen lassen, wenn es mit Hülfe besserer Versuchsmethoden gelungen sein wird, die Widerstandsveränderungen der mittleren Stellen genauer zu erforschen. Vor der Hand aber können wir nur hervorheben, dass gerade, wenn cd unter dem Einflusse des Stromes von K beträchtlicher an Widerstand zunimmt, die Widerstandsabnahme von cd als einer mittleren Stelle von ab viel schwerer zu constatiren ist, als wenn jene Widerstandszunahme von cd nur gering ist. Und bei diesem Wahrscheinlichkeitsbeweise gegen die in Rede stehende Annahme dürfen wir um so eher uns beruhigen, als man wider die geringe Widerstandsabnahme der mittleren Stellen der intrapolaren Nervenstrecke aus theoretischen Gründen gerade am wenigsten wird einen Einwand erheben wollen und es zudem für die Folge von keiner wesentlichen Bedeutung ist, ob man diesen Stellen hier mit uns eine geringe Widerstandsabnahme zuerkennt oder nicht.

Zum Schlusse muss noch einer Ausnahme Erwähnung geschehen, welche, wenn man sie zuerst gewahr wird, die Ergebnisse unserer Untersuchung sehr in Frage zu stellen scheint. Man findet nämlich hin und wieder, wenn man die Widerstandsveränderungen prüft, welche cd als eine mittlere Stelle von ab unter dem Einflusse des Stromes von K_1 erfährt, dass — im Gegensatze zu den sonstigen Ergebnissen der Versuche — der Widerstand von cd durch die Durchströmung von ab ansehn-

lich wächst, wenn *cd* in der Stromaustrittshälfte, und mehr als gewöhnlich abnimmt, wenn *cd* in der Stromeintrittshälfte von *ab* gelegen ist. Bei der Beachtung der Lage des Nerven zeigt sich aber ausnahmslos in allen diesen Fällen, dass die Abgangsstellen der Oberschenkeläste, welche, wenn man die zu prüfende Hälfte der intrapolaren Nervenstrecke in der peripherischen Hälfte des Nerven annimmt und nicht sehr grosse Frösche benutzt, in der Regel zwischen *a* und *c* fallen, nahe bei *c* sich befinden. Durch die absichtliche Auflagerung des Nerven in solcher Weise lassen sich alsdann bei weiteren Versuchen jedes Mal die ausnahmsweisen Ergebnisse herbeiführen: während man, wenn man die Abgangsstellen der Oberschenkeläste weiter entfernt von *c* hält, stets die zuerst angegebenen Ergebnisse gewinnt. Es kann danach nicht zweifelhaft sein, dass nur eine durch die Dickenveränderung des Nerven oder dergleichen bedingte Abweichung vom normalen Verhalten vorliegt, welcher im Allgemeinen keine Bedeutung weiter beizumessen ist. Die Abweichung[1] wird aber später noch

1) Als ein Beispiel der Abweichung diene Vers. 133.

Versuch 133.

Wd: Capillarröhren II und III neben einander. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 4 Grove's. — Der Strom von *K* tritt immer bei *c* ein.

11 *h*. 6 *m*. Mittelgrosse Rana esc. ++.
11 *m*. Ischiadicus aufgelegt.
16 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole $1\frac{1}{2}^{sc}$ Ablenkung, Strom von *c* nach *d* anzeigend.)
10″. 664. Der Widerstand nimmt zu.
17 *m*. 666. Empfindlichkeit wie bei Vers. 132.
19 *m*. 673,5. *K* geöffnet. — Keine Ablenkung.
24 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 11 *h*. 16 *m*.)
10″. 669,5. Der Widerstand nimmt zu.
25 *m*. 671.
27 *m*. 674,5. *K* geöffnet. — Keine Ablenkung.
32 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole $1\frac{1}{4}^{sc}$ Ablenk. wie 11 *h*. 16 *m*.)
10″. 667,5. Der Widerstand nimmt zu.
33 *m*. 669,5.
35 *m*. 672. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung, Strom von *d* nach *c* anzeigend.
40 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole 1^{sc} Ablenk. wie 11 *h*. 16 *m*.)
10″. 661,5. Der Widerstand nimmt zu.
41 *m*. 663.
43 *m*. 667. *K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *b* ein.
48 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
c. 15″. 641. Der Widerstand nimmt zu.
49 *m*. 646.
51 *m*. 648,5. *K* geöffnet. — $\frac{1}{2}^{sc}$ Ablenkung wie 11 *h*. 35 *m*.
56 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 11 *h*. 40 *m*.)
10″. 635. Der Widerstand nimmt zu.
57 *m*. 639.
59 *m*. 643. *K* geöffnet. — 1^{sc} Ablenkung wie 11 *h* 35 *m*.
12 *h*. 4 *m*. *K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 11 *h*. 40 *m*.)
10″. 629,5. Der Widerstand nimmt zu.
5 *m*. 633,5.

von besonderem Interesse für uns sein durch das tiefere Verständniss, welches wir von derselben gewinnen werden (s. u. Kap. VI. § 3.).

12 *h.*	7 *m.*	636,5.	*K* geöffnet. — $1^{1}/_{4}{}^{sc}$ Ablenkung wie 11 *h.* 35 *m.*
	12 *m.*		*K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole wie 11 *h.* 40 *m.*)
	10″.	622,5.	Der Widerstand nimmt zu.
	13 *m.*	627,5.	
	15 *m.*	630,5.	*K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *a* ein.
	20 *m.*		K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. K_1 geschlossen.
	c. 15″.	645.	Der Widerstand nimmt ab.
	21 *m.*	643.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	23 *m.*	645.	*K* geöffnet. — Ablenkung wie 11 *h.* 59 *m.*
	28 *m.*		*K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole $^{2}/_{3}{}^{sc}$ Ablenk. wie 11 *h.* 16 *m.*)
	10″.	630.	Der Widerstand nimmt zu.
	29 *m.*	634.	
	30 *m.*	636.	Der Widerstand verändert sich jetzt nicht merklich bis
	31 *m.*		*K* geöffnet. — Ablenkung wie 11 *h.* 59 *m.*
	36 *m.*		*K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole $^{1}/_{3}{}^{sc}$ Ablenk. wie 11 *h.* 16 *m.*)
	10″.	626.	Der Widerstand nimmt zu.
	37 *m.*	630.	
	39 *m.*	635.	*K* geöffnet. — Ablenkung wie 11 *h.* 59 *m.*
	44 *m.*		*K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole keine Ablenkung.)
	10″.	625.	Der Widerstand nimmt zu.
	45 *m.*	629.	
	47 *m.*	632,5.	*K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *a* ein.
	52 *m.*		K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. *K* geschlossen.
	c. 15″.	640.	Der Widerstand nimmt ab.
	53 *m.*	639.	
	54 *m.*	638.	Der Widerstand verändert sich jetzt nicht merklich bis
	55 *m.*		*K* geöffnet. — $1^{1}/_{4}{}^{sc}$ Ablenkung wie 11 *h.* 35 *m.*
1 *h.*	0 *m.*		*K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole spurweise Ablenkung wie 11 *h.* 16 *m.*)
	10″.	628.	Der Widerstand nimmt zu.
	1 *m.*	631.	
	3 *m.*	635.	*K* geöffnet. — Ablenkung wie 11 *h.* 59 *m.*
	8 *m.*		*K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole keine Ablenkung.)
	10″.	624.	Der Widerstand nimmt zu.
	9 *m.*	628,5.	
	11 *m.*	632.	*K* geöffnet. — $1^{1}/_{2}{}^{sc}$ Ablenkung wie 11 *h.* 35 *m.*
	16 *m.*		*K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole keine Ablenkung.)
	10″.	618.	Der Widerstand nimmt zu.
	17 *m.*	622.	
	19 *m.*	625,5.	*K* geöffnet. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen; der Strom von K_1 tritt bei *b* ein.
	24 *m.*		K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *K* geschlossen.
	c. 15″.	609.	Der Widerstand nimmt zu.
	25 *m.*	616.	
	27 *m.*	623.	*K* geöffnet. — Ablenkung wie 12 *h.* 50 *m.*
	32 *m.*		*K* geschlossen. (Bei Oeffnung der Bussole $^{1}/_{2}{}^{sc}$ Ablenkung.)
	10″.	614,5.	Der Widerstand nimmt zu.
	33 *m.*	620.	
	35 *m.*	625,5.	*K* geöffnet. — Ablenkung wie 1 *h.* 6 *m.*

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $bd = 7^{mm}$; $cd = 2^{mm}$; $ac = 16^{mm}$; $co = 6^{mm}$; $oa = 10^{mm}$; $aw = 15^{mm}$; $bm = 9^{mm}$; Abstand zwischen *c* und der Abgangsstelle des untersten Oberschenkelastes: c. 3^{mm}.

§ 3. Von der Verarmung der Stromeintrittsgegend der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit.

Eine gute Uebersicht über die in den §§ 1. und 2. gewonnenen Ergebnisse gewährt die graphische Darstellung Fig. 22. Auf den Nerven *NN* als Abscissenaxe sind in der intrapolaren Nervenstrecke *ab*, welche in der Richtung von *b* nach *a* durchströmt angenommen ist, als Ordinaten die Widerstandszuwächse der einzelnen 2^{mm} langen Stellen, welche die intrapolare Nervenstrecke zusammensetzen, aufgetragen, so dass die Mitte einer jeden solchen Stelle der Fusspunkt der zugehörigen Ordinate ist. Die Curve der Widerstandsveränderungen ist im Falle grösserer Intensität oder längerer Dauer des *ab* durchsetzenden Stromes oder im Falle grösseren specifischen Widerstandes der Nervenflüssigkeit die ausgezogene Curve, im Falle geringerer Intensität u. s. w. die punktirte Curve.

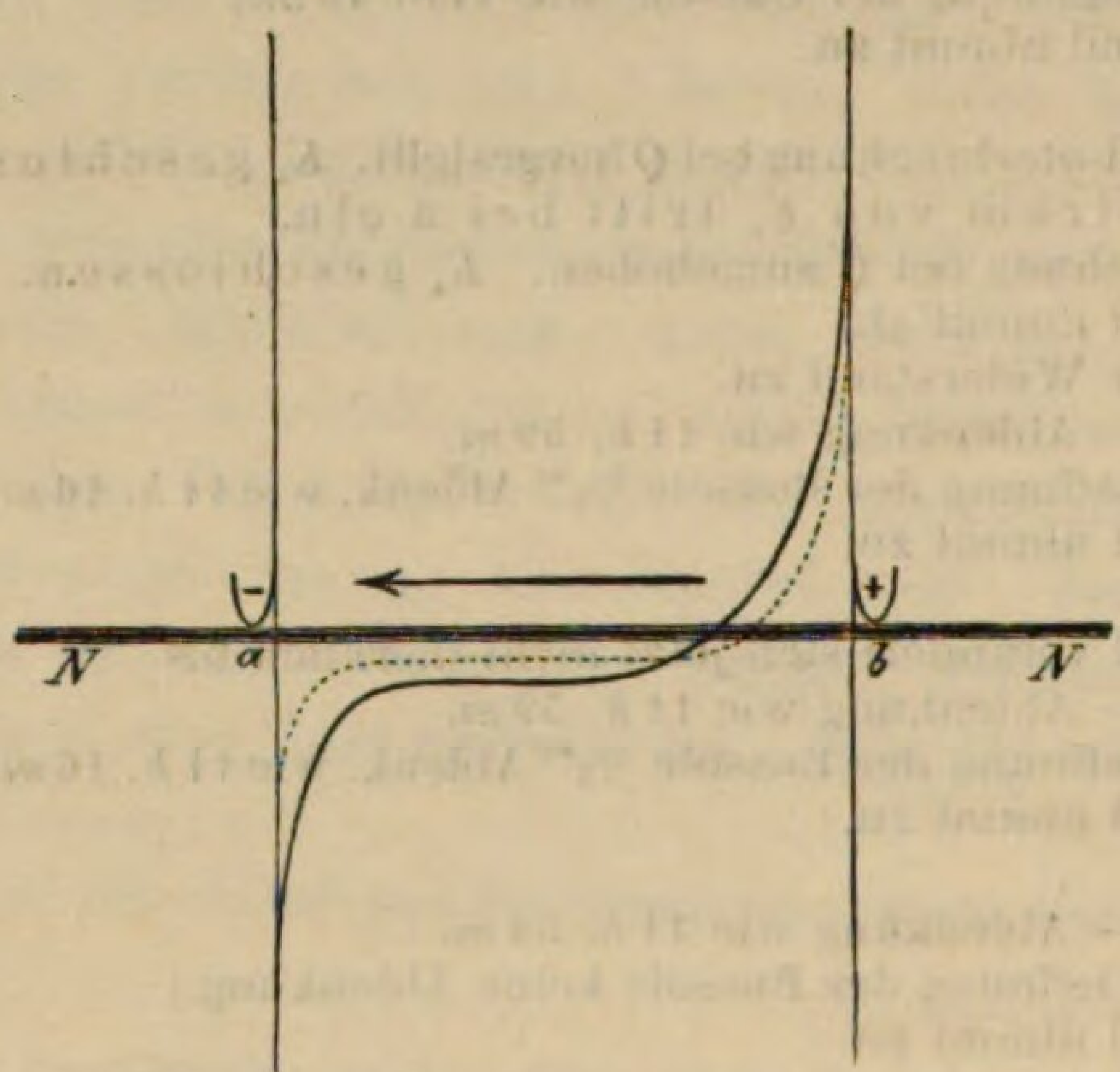


Fig. 22.

Nach diesen Ergebnissen kann es keinem Zweifel unterliegen, dass die Stromeintrittsgegend d. h. das dem Stromeintrittsende benachbarte Stück der intrapolaren Nervenstrecke in grösserer Länge unter dem Einflusse des Stromes an Flüssigkeit verarmt, da überall, wo durch die Durchströmung der Widerstand wächst, dieses Wachsen, wie wir wissen, die Folge davon ist, dass die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung die Widerstandsabnahme in Folge der Erwärmung und in Folge der chemischen Veränderungen durch den Strom übertrifft. Und da der Curve der letzteren Widerstandsabnahme, bezogen auf die intrapolare Nervenstrecke als Abscissenaxe, vom Stromeintrittsende nach der Mitte der Nervenstrecke hin ein gegen die Abscissenaxe stark concaver Verlauf nicht zugeschrieben werden kann, führen unsere Ergebnisse weiter zu dem Schlusse, dass die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung rasch an Grösse verliert, je weiter vom Stromeintrittsende entfernt die betrachtete Nervenstrecke gelegen ist, dass also die der Stromeintrittsgegend zugehörigen Nervenstellen mit wachsendem Abstande von dem Stromeintrittsende zunehmend weniger an Flüssigkeit verarmen. Endlich lehren die Ergebnisse noch, dass die Verarmung der der Stromeintrittsgegend zugehörigen

Nervenstellen mit der Stromintensität, der Stromdauer und dem specifischen Widerstande der Nervenflüssigkeit wächst.

Das aus den Gestaltsveränderungen des Nerven über die Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke Entnommene hat also durch unsere Widerstandsuntersuchungen, wie wir es erstrebten, seine Bewährung gefunden; und mit diesem Erfolge müssen wir, so nahe es auch liegt, weitere Schlüsse aus den erkannten Widerstandsveränderungen zu ziehen, für den Augenblick uns zufrieden geben. Wir stossen, wenn wir weiter gehen, auf eine Schwierigkeit, welche erst im Kap. VI. klar sich wird übersehen lassen, und wir schieben es deshalb bis dahin auf, die Ergebnisse unserer letzten Widerstandsuntersuchungen noch besser auszunutzen.

Kapitel V.

Von den Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke und den inneren Vorgängen in derselben bei anders gearteter Zu- und Ableitung des Stromes.

Blicken wir jetzt zurück, so haben wir allerdings eine umfassende Kenntniss der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke gewonnen; aber diese Kenntniss ist, weil wir den Nerven bisher immer mit mittleren Stellen seines Verlaufes unseren in einer und derselben Weise hergerichteten Zuleitungsröhren aufgelagert haben, doch auf den Fall gerade solcher Zu- und Ableitung des Stromes beschränkt. Wir müssen deshalb die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke noch bei anderweitiger Zu- und Ableitung des Stromes untersuchen: wir haben nunmehr zuzusehen, wie diese Widerstandsveränderungen sich gestalten, erstens wenn Querschnittflächen des Nerven Ein- und Austrittsstellen des Stromes sind, und zweitens wenn — bei Ein- und Austritt des Stromes an mittleren Stellen oder Querschnittflächen des Nerven — die Zu- und Ableiter des Stromes anders als bisher geartet sind.

§ 1. Der Strom tritt an einer Querschnittfläche des Nerven ein oder aus.

Für's Erste wollen wir bei der Versuchsanordnung Fig. 1. den Strom an einer Querschnittfläche in den Nerven ein- oder austreten lassen. Dazu bringen wir den Nerven, von welchem wir eine Strecke dem Strome aussetzen wollen, immer so auf die beiden Zuleitungsröhren, dass wir ihn zunächst mit einer Querschnittfläche der einen Thonspitze und zwar ihrer

der anderen Thonspitze zugekehrten Seitenfläche sich anlegen lassen und darauf mit einer mittleren Stelle seines Verlaufes der vorderen Kante der zweiten Thonspitze auflagern. Die Querschnittfläche, welche wir zu den Versuchen benutzen, stellen wir jedes Mal durch einen neuen Schnitt erst unmittelbar vor der Auflagerung des Nerven her, und wir tragen dafür Sorge, dass die ganze Schnittfläche des Nerven die Seitenfläche der Thonspitze berührt; das zweite Ende des Nervenstammes liegt, wenn der Nerv nicht in unversehrter Verbindung mit dem Unterschenkel erhalten ist, auf einer zur Seite der zweiten Zuleitungsröhre befindlichen Glasröhre. Der Kürze halber soll in der nächsten Folge die Durchströmung der Nervenstrecke, wenn der Strom an der Querschnittfläche eintritt, die *Ql*-Durchströmung, und wenn der Strom an der mittleren Stelle eintritt, die *Lq*-Durchströmung heissen.

Die Wiederholung der Versuche des § 1 (2) des Kap. II. liefert bei der *Lq*-Durchströmung die früheren Ergebnisse wieder. Anders aber bei der *Ql*-Durchströmung. Die Vergleichung der anfänglichen und der schliesslichen Schieberstellung lehrt in diesem Falle (mit Berücksichtigung der Fehlerquellen der inneren Polarisation und der Erwärmung des Vergleichswiderstandes), dass die Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes an Widerstand verloren hat; und aus sämmtlichen Schieberstellungen im Laufe des Versuches ergiebt sich, entweder dass der Widerstand dauernd mit verzögerter Geschwindigkeit abgenommen hat, oder dass der Widerstand anfangs lange Zeit mit abnehmender Geschwindigkeit beträchtlich kleiner und danach langsam mit erst zunehmender und später abnehmender Geschwindigkeit wieder grösser geworden ist.

Diese Verschiedenheit der Widerstandsveränderungen bei der *Lq*- und der *Ql*-Durchströmung tritt besonders scharf hervor, wenn wir weiter an Nerven gleich grosser und gleich munterer Frösche von demselben Fange eine grössere Reihe von Versuchen rasch nach einander in der Weise anstellen, dass wir die ganze Versuchsanordnung und dazu noch die Länge der durchströmten Nervenstrecke und die den Zuleitungsröhren anliegenden Nervenstellen in allen Versuchen möglichst gleich erhalten, zur Stromeintrittsstelle aber abwechselnd bei dem einen Versuche die Querschnittfläche, bei dem anderen Versuche die mittlere Stelle des Nerven machen: die Widerstandsveränderungen, welche bei der Durchströmung zur Beobachtung kommen, wechseln alsdann ganz regelmässig von einem Versuche zum anderen in der angegebenen Weise ab. Und hier, wo nur die Richtung des Stromes von *K* in der Nervenstrecke eine verschiedene gewesen ist, wird es auch zweifellos, dass die wahrgenommene Verschiedenheit der Widerstandsveränderungen nur durch die verschiedene Stromrichtung bedingt ist.

Von einer Bedeutung der auf- oder absteigenden Stromrichtung im Nerven kann aber, von den Erfahrungen des § 8. des Kap. III. ganz abgesehen, nicht die Rede sein. Denn die Verschiedenheit der Widerstandsveränderungen kommt nicht nur in ganz gleicher Weise zur Beobachtung, wenn die *Lq*-Durchströmung aufsteigend ist und die *Ql*-Durchströmung absteigend, wie wenn das Umgekehrte der Fall ist, sondern sie ist auch an einem ganzen Bündel von Nerven, deren centrale und peripherische Enden abwechselnd nach entgegengesetzten Seiten sehen, zu constatiren. Die Verschiedenheit der Widerstandsveränderungen muss also in der Verschiedenheit der Ein- und Austrittsstellen des Stromes begründet sein. Und da einerseits die Widerstandsveränderungen bei der *Lq*-Durchströmung nicht abweichen von den Widerstandsveränderungen, welche bei den Versuchen des § 1 (2) des Kap. II. sich gezeigt haben, und andererseits die Widerstandsveränderungen, welche bei der *Ql*-Durchströmung sich uns ergeben haben, ebenso auftreten, wenn wir den Nerven mit zwei Querschnittflächen zwischen die Zuleitungsröhren bringen, muss die Verschiedenheit der Widerstandsveränderungen eine Folge der Verschiedenheit der Eintrittsstellen des Stromes sein.

Mit nur unwesentlichen Modificationen, deren Zergliederung nicht lohnend, deren Verständniss aber auf Grund unserer Mittheilungen gesichert ist, finden wir unsere Verschiedenheit der Widerstandsveränderungen bei grösserer wie bei geringerer Stromintensität, bei jeder Länge und Dicke der intrapolaren Nervenstrecke, bei sehr lebensfähigen und bei nur wenig lebensfähigen Nerven, endlich bei todten wie bei lebenden Nerven immer wieder. Von besonderem Werthe ist ihre Beobachtung an todten Nerven, weil sie auf das Leichteste uns von einem Einwande befreit, der hier sich hätte erheben lassen. Da der (ruhende) Nervenstrom dem Strome von *K* bei der *Ql*-Durchströmung immer gleich, bei der *Lq*-Durchströmung immer entgegengesetzt gerichtet ist, muss der Widerstand der Nervenstrecke bei der *Ql*-Durchströmung zu klein, bei der *Lq*-Durchströmung zu gross sich darstellen. Dies würde, da es uns nur um die Veränderungen des Widerstandes während der Durchströmung zu thun ist, bedeutungslos sein, wenn der (ruhende) Nervenstrom während der Durchströmung unverändert bliebe und nur der elektrotonische Zuwachs[1] hinzuträte, der seinerseits nicht in Betracht kommt, weil er beide Male dem Strome von *K* gleich gerichtet ist. Nach *du Bois-Reymond* ist aber der elektrotonische Zustand wahrscheinlich von einer Verzerrung der ursprünglichen Curve der Stromstärken des Nerven begleitet[2]: und dieser Verzerrung könnte man unsere

1) S. o. S. 15. — *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 327—8*; 354*.

2) *E. du Bois-Reymond*, Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 326—7*; 434—6*.

Verschiedenheit der Widerstandsveränderungen zuschreiben wollen, so dass sie danach nur eine scheinbare, durch elektromotorische Kräfte im Nervenzweige bedingte wäre. Allerdings lässt sich dieser Einwand schon mit der Unbedeutendheit jener Verzerrung zurückweisen und mit dem verhältnissmässig unbeträchtlichen Einflusse auf die Schieberstellung, welcher bei der geringen Empfindlichkeit unserer Versuchsanordnung einer Veränderung des Nervenstromes überhaupt nur zukommen könnte. Indessen ist es, zumal da in den eben zur Sprache gekommenen Verhältnissen noch manche Dunkelheit herrscht, die zu Einwänden ausgebeutet werden könnte, gewiss ein nicht zu unterschätzender Vortheil, dass das Auftreten der Verschiedenheit der Widerstandsveränderungen am todten wie am lebenden Nerven jeden Gedanken an eine Täuschung durch die elektromotorischen Kräfte des Nerven unbedingt ausschliesst.

Was die inneren Vorgänge in der intrapolaren Nervenstrecke betrifft, so ist aus der Verschiedenheit der Widerstandsveränderungen bei der *Lq*– und der *Ql*–Durchströmung zu entnehmen, dass die Widerstandszunahme der intrapolaren Nervenstrecke in Folge der Verarmung und demgemäss auch die Verarmung selbst bei der *Ql*–Durchströmung entweder gar nicht auftreten oder wenigstens viel geringer sind als bei der *Lq*–Durchströmung. Und damit stimmen dann auch die Erfahrungen, welche wir bei der Umkehrung der Stromrichtung wie bei der Oeffnung und Wiederschliessung der Kette machen, auf das Beste überein. Gehen wir von der ursprünglichen *Lq*–Durchströmung durch Umlegen der Wippe *B* zur *Ql*–Durchströmung über, so nimmt der Widerstand mit abnehmender Geschwindigkeit ab, und es kommt, selbst wenn wir sehr lange geschlossen halten, höchst selten wieder zu einer Zunahme des Widerstandes; kehren wir durch wiederholtes Umlegen der Wippe *B* zur *Lq*–Durchströmung zurück, so nimmt der Widerstand sogleich wieder in steilem Verlaufe, nur etwas weniger beträchtlich als bei der ersten *Lq*–Durchströmung, zu. Umgekehrt nimmt, wenn wir von der ursprünglichen *Ql*–Durchströmung durch Umlegen der Wippe *B* zur *Lq*–Durchströmung übergehen, der Widerstand sogleich sehr rasch zu; und kehren wir zur *Ql*–Durchströmung zurück, so nimmt der Widerstand wieder mit abnehmender Geschwindigkeit ab. Bei der *Lq*–Durchströmung zeigt sich ferner der Widerstand nach der Oeffnung der Kette, ganz so wie bei den Versuchen des § 9. des Kap. II., verringert: bei der *Ql*–Durchströmung hingegen finden wir, wenn nur die Durchströmung nicht sehr lange angedauert hat, den Widerstand nach der Oeffnung der Kette immer vergrössert.

Wenn eine Querschnittfläche des Nerven Stromeintrittsstelle ist, tritt also die Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit und zwar, wie wir durch Kap. IV. wissen, die Verarmung ihrer Stromeintritts–

gegend entweder gar nicht ein, oder sie ist wenigstens viel geringer, als wenn unter sonst gleichen Umständen eine mittlere Stelle des Nerven dem Strome zum Eintritte dient. Mit dieser Erfahrung scheinen wir aber nur, was längst im Allgemeinen uns bekannt geworden ist, im Speciellen wieder aufgefunden zu haben. Daran zwar, dass der specifische Widerstand der Nervenflüssigkeit in's Spiel komme, weil der Nerv am Querschnitte rascher als an der mittleren Stelle abstirbt, kann aus mehrfachen Gründen nicht gedacht werden. Denn einmal ist es nicht möglich, dass, wenn wir den frischen Nerven sogleich nach dem Herstellen des Querschnittes durchströmt sein lassen, die Verschiedenheit des specifischen Widerstandes der Nervenflüssigkeit am Querschnitte und an der mittleren Stelle des Nerven schon eine so beträchtliche Grösse gewonnen haben sollte, wie sie zur Herbeiführung unseres Ergebnisses erforderlich wäre; und zweitens muss der Widerstand einer rascher absterbenden Nervenstrecke nach unseren Erfahrungen im § 5. des Kap. III. nicht blos früher verringert, sondern danach auch früher vergrössert sein, und die uns beschäftigende Verschiedenheit der Widerstandsveränderungen bei der *Lq*– und der *Ql*–Durchströmung kommt überall in wesentlich gleicher Weise zum Vorschein, gleichviel ob wir ganz frische oder mehr oder weniger weit im Absterben vorgerückte Nerven untersuchen. Wir haben aber im § 3. des Kap. III. gefunden, dass die Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke unter sonst gleichen Umständen mit dem Wachsen der Berührungsfläche zwischen der positiven Zuleitungsröhre und dem Nerven abnimmt: und nichts Anderes scheint unsere in Rede stehende Erfahrung zu besagen, da wir bei den bisherigen Versuchen dieses § gewöhnliche Thonspitzen (s. o. S. 711—2.) benutzt haben und so die Berührungsfläche des Querschnittes grösser gewesen ist als die der mittleren Stelle des Nerven.

Der Versuch entscheidet jedoch gegen die Vermuthung. Wiederholen wir unsere Versuche mit der *Lq*– und der *Ql*–Durchströmung, nachdem wir an der für die Auflagerung der mittleren Stelle des Nerven bestimmten Thonspitze eine sehr stumpfe (5—6^{mm} breite) vordere Kante geformt haben, so dass die Berührungsfläche zwischen der mittleren Stelle des Nerven und der Zuleitungsröhre viel grösser ist als die Querschnittfläche des Nerven, so sehen wir gleichwohl nach der Schliessung der Kette unter denselben Umständen, unter welchen bei der *Lq*–Durchströmung der Widerstand lange zunimmt, bei der *Ql*–Durchströmung den Widerstand lange abnehmen, und entsprechend sind die Wahrnehmungen nach der Umkehrung der Stromrichtung und nach der Oeffnung der Kette; die Verschiedenheit der Widerstandsveränderungen bei der *Lq*- und der *Ql*–Durchströmung ist nur natürlich jetzt kleiner als in den Fällen, in welchen die mittlere Stelle des Nerven einer gewöhnlichen Thonspitze auflag. Die Bedeutung der

Querschnittfläche als Stromeintrittsstelle fällt also mit der Bedeutung der Grösse der Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der positiven Zuleitungsröhre keineswegs zusammen; und das Ergebniss unserer Untersuchung ist jetzt folgendermassen auszusprechen: Tritt der Strom an einer Querschnittfläche in den Nerven ein, so bleibt die Verarmung der Stromeintrittsgegend der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit entweder ganz aus, oder sie ist wenigstens viel geringer, als — unter sonst gleichen Umständen und besonders bei gleicher Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der positiven Zuleitungsröhre — wenn der Strom an einer mittleren Stelle in den Nerven eintritt.

Es verdient hier nochmals hervorgehoben zu werden, dass eine gute d. h., soweit der Augenschein lehrt, vollkommene Anlagerung der Querschnittfläche des Nerven an die betreffende Thonspitze für die vorliegende Untersuchung durchaus nothwendig ist: sonst nähern sich die Ergebnisse der Versuche, welche im Uebrigen eine besondere Berücksichtigung nicht erfordern, sehr denjenigen, welche man gewinnt, wenn der Strom an einer mittleren Stelle in den Nerven eintritt. Eben deshalb, weil es nicht zuverlässig gelingt, ein Nervenstück unbeschädigt mit zwei Querschnittflächen den beiden Thonspitzen g u t anzulagern, ist auch dieser Fall oben nicht weiter in Untersuchung gezogen worden, als um uns zu überzeugen, dass alsdann die Ergebnisse nicht wesentlich abweichen von dem anderen Falle, in welchem eine mittlere Stelle des Nerven Stromaustrittsstelle ist (s. o. S. 365.).

Gestaltsveränderungen des Nerven in Folge der Durchströmung sind bei den voraufgegangenen Versuchen am Querschnittsende des Nerven nicht wahrzunehmen, kommen aber an der mittleren Stelle des Nerven, je nachdem sie Stromein- oder Stromaustrittsstelle war, in der früher erkannten Weise zur Beobachtung.

Versuch 134.

Wd: Capillarröhre II. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei *z*.

1 *h*. 28 *m*. Kleiner Frosch ††.

33 *m*. Ischiadicus der Thonspitze von *z* mit Querschnittfläche angelegt und der Thonspitze von z_1 mit mittlerer Stelle aufgelagert.

Bei Oeffnung des Multiplicatorschlüssels fast 1° const. Ablenkung der Nadel, Strom von *z* nach z_1 anzeigend.

48 *m*. *K* geschlossen. Schieber auf 600.

Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 13° aus. Der Widerstand nimmt ab.

1 *h.*	49 *m.*	680.	
	50 *m.*	670.	
	53 *m.*	660.	
	59 *m.*	650.	Empfindlichkeit: auf 10mm Verschiebung
2 *h.*	9 *m.*	640.	von *S* fast 1° const. Nadelablenkung.
	20 *m.*	634.	Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
	55 *m.*		wo *K* geöffnet wird.

Die Nadel bleibt c. 15 Sec. unbewegt auf Null, schlägt dann aber, Strom von z nach z_1 anzeigend, um $^1/_3{}^0$ aus und nimmt so const. Ablenkung von c. $^1/_4{}^0$ an.

Nur ein Stück des Ischiadicus war benutzt worden. $ab = lb = 5{,}5^{mm}$; $bo = 12^{mm}$; $br = 16^{mm}$.

Versuch 135.

Wd: Capillarröhre II. — *K*: 1 Daniell. — Stromeintritt bei z.

Der Schenkel, welchem der Nerv entnommen wird, gehört einem drei Tage vorher 11 *h.* 22 *m.* getödteten Frosche an und ist bisher enthäutet im feuchten Raume aufbewahrt worden. Oberschenkel-Musculatur bereits faulig zerfliessend.

8 *h.* 36 *m.* Ischiadicus der Thonspitze von z mit Querschnittfläche angelegt und der Thonspitze von z_1 mit mittlerer Stelle aufgelagert.

Bei Oeffnung des Multiplicator-Schlüssels fast $^1/_4{}^0$ const. Ablenkung der Nadel, Strom von z nach z_1 anzeigend.

9 *h.* 5 *m.* *K* geschlossen. Schieber auf 700.

Die Nadel schlägt, grösseren Widerstand anzeigend, um 11° aus. Der Widerstand nimmt ab.

	6 *m.*	c. 800.	
	7 *m.*	785.	
	9 *m.*	770.	
	12 *m.*	760.	
	23 *m.*	740.	
	46 *m.*	732.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	59 *m.*	735.	
10 *h.*	23 *m.*	745.	
	46 *m.*	755.	
11 *h.*	10 *m.*	765.	Empfindlichkeit: auf 10mm Verschiebung
	48 *m.*	775.	von *S* c. $^2/_3{}^0$ const. Nadelablenkung.
12 *h.*	30 *m.*	785.	
1 *h.*	31 *m.*	795.	*K* geöffnet.

Die Nadel schlägt, Strom von z_1 nach z anzeigend, um c. $^3/_4{}^0$ aus. Sie nimmt darauf spurweise const. Ablenkung, Strom von z nach z_1 anzeigend, an.

Nur ein Stück des Ischiadicus war benutzt worden. $ab = lb = 5^{mm}$; $bo = 6^{mm}$; $br = 20^{mm}$.

Versuch 136.

Wd: Capillarröhren II und III neben einander. — *K*: 1 Daniell. — Die vordere Kante der Thonspitze von z ist sehr stumpf.

11 *h*. 19 *m*. Grosse Rana esc. ††.

24 *m*. Ischiadicus der Thonspitze von z_1 mit Querschnittfläche angelegt und der Thonspitze von z mit mittlerer Stelle aufgelagert.

Bei Oeffnung des Bussolen-Schlüssels 2^{sc} Ablenkung, Strom von z_1 nach z anzeigend.

30 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *b*.

15″. 602. Der Widerstand nimmt ab.

31 *m*. 596,5.

33 *m*. 592,5.

35 *m*. 589,5.

38 *m*. 587.

41 *m*. 585. *K* geöffnet. — $1^2/_3{}^{sc}$ Ablenkung, Strom von z_1 nach z anzeigend. Die Ablenkung nimmt auf c. 2^{sc} zu und erhält sich so.

46 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *b*.

10″. 590. Der Widerstand nimmt ab.

48 *m*. 585,5.

51 *m*. 583.

55 *m*. 581. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *a*.

10″. 602. Der Widerstand nimmt zu.

56 *m*. 612,5.

57 *m*. 619,5.

59 *m*. 627.

12 *h*. 1 *m*. 632.

5 *m*. 636,5. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *b*.

15″. 599. Der Widerstand nimmt ab.

6 *m*. 592. Empfindlichkeit: auf c. 4^{mm} Verschiebung

7 *m*. 586. von *S* 1^{sc} const. Ablenkung des Spiegels.

10 *m*. 580. *K* geöffnet. — c. $1^1/_2{}^{sc}$ Ablenkung, wie vorher.

Der Ischiadicus war in unversehrter Verbindung mit dem Unterschenkel erhalten und der benutzte Querschnitt dicht unterhalb des Abganges des untersten Oberschenkelastes angelegt. $ab = ar = 6^{mm}$; $am = 21^{mm}$; a lag in 6^{mm} Länge der Thonspitzenkante von z auf. Nach der Beendigung des Versuches ist der Nerv noch dicht am Querschnitte mechanisch gut erregbar.

Versuch 137.

Alles wie bei Vers. 136.

12 *h.* 19 *m.*			Der zweite Ischiadicus des für Vers. 136. ††Frosches eebnso, wie der erste Ischiadicus, aufgelegt. Bei Oeffnung des Bussolen-Schlüssels $3^2/_3{}^{sc}$ Ablenkung, Strom von z_1 nach z anzeigend.
24 *m.*			*K* geschlossen. Stromeintritt bei *a*.
	15″.	655.	Der Widerstand nimmt zu.
26 *m.*		664,5.	
28 *m.*		673,2.	
30 *m.*		677,5.	
32 *m.*		681.	
35 *m.*		687.	*K* geöffnet. — Fast 4^{sc} Ablenkung, Strom von z_1 nach z anzeigend. Die Ablenkung nimmt auf $3^1/_2{}^{sc}$ ab und erhält sich so.
40 *m.*			*K* geschlossen. Stromeintritt bei *a*.
	10″.	672.	Der Widerstand nimmt zu.
41 *m.*		679.	
43 *m.*		685.	
46 *m.*		689.	
49 *m.*		691,5.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *b*.
	15″.	642.	Der Widerstand nimmt ab.
50 *m.*		626.	
51 *m.*		618,5.	
53 *m.*		610.	
55 *m.*		603,5.	
59 *m.*		597,5.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *a*.
	15″.	632.	Der Widerstand nimmt zu.
1 *h.* 0 *m.*		645.	
1 *m.*		653.	
2 *m.*		659,5.	

1 *h.* 5 *m.* 669,5. *K* geöffnet. — c. $3^1/_2{}^{sc}$ Ablenkung, Strom von z_1 nach z anzeigend. Die Ablenkung nimmt auf c. 3^{sc} ab und erhält sich so.

$ab =$ c. $6,5^{mm}$. Sonst wie bei Vers. 136.

§ 2. Der Thon unserer Zuleitungsröhren ist mit anderen Flüssigkeiten getränkt.

Das Zweite, was wir thun, ist, dass wir den Thon unserer Zuleitungsröhren mit anderen Flüssigkeiten tränken. Die Flüssigkeiten, welche wir nach einander an die Stelle der bisher ausschliesslich von uns benutzten 1 %igen Kochsalzlösung treten lassen, sind folgende:

Schwefelsäure verdünnt mit dem neunzehnfachen Volumen (Brunnen-) Wasser;
Essigsäure verdünnt mit dem halben Volumen Wasser;
 Essigsäure verdünnt mit dem gleichen Volumen Wasser;
Gerbsäure, concentrirte wässerige Lösung;
Schwefelsaure Kupferoxydlösung, concentrirt;
Schwefelsaure Zinkoxydlösung, concentrirt;
 Dieselbe verdünnt mit dem gleichen Volumen Wasser (No. 1.);
 Dieselbe verdünnt mit dem dreifachen Volumen Wasser (No. 2.);
 Dieselbe verdünnt mit dem zehnfachen Volumen Wasser (No. 3.);
Quecksilberchloridlösung, concentrirt;
Chlornatriumlösung, concentrirt;
 Dieselbe verdünnt mit dem doppelten Volumen Wasser (No. 1.);
 Dieselbe verdünnt mit dem siebenfachen Volumen Wasser (No. 2.);
 Dieselbe verdünnt mit dem sechzehnfachen Volumen Wasser (No. 3.);
Chlorcalciumlösung, concentrirt;
Chlorammoniumlösung, concentrirt;
Schwefelsaure Natronlösung, concentrirt;
Kohlensaure Kalilösung, concentrirt;
Brunnenwasser (verschiedenen Berliner Brunnen entnommen);
Absoluter Alkohol;
 Derselbe gemischt mit einem Viertel Volumen Wasser (No. 1.);
 Derselbe gemischt mit dem gleichen Volumen Wasser (No. 2.);
 Derselbe gemischt mit dem doppelten Volumen Wasser (No. 3.).

Mit jeder der genannten Flüssigkeiten tränken wir für den einen Theil der Versuche den Thon beider Zuleitungsröhren zugleich, für den zweiten Theil der Versuche aber nur den Thon einer der beiden Zuleitungsröhren, während der Thon der anderen Zuleitungsröhre in der gewohnten Weise

mit 1%iger Kochsalzlösung getränkt bleibt. Wir wiederholen so die Versuche des Kap. II. und die Versuche des § 1. dieses Kapitels, indem wir entweder beiden Thonspitzen zugleich mittlere Stellen des Nerven auflagern oder nur einer Thonspitze eine mittlere Stelle, der anderen aber eine Querschnittfläche des Nerven anlegen; dabei ertheilen wir denjenigen Thonspitzenkanten, welchen mittlere Stellen des Nerven aufliegen sollen, in verschiedenen Versuchsreihen eine verschiedene Breite. Sämmtliche Versuche stellen wir an Nerven erst vor Kurzem getödteter Thiere an. Zur intrapolaren Strecke nehmen wir stets die schon sonst von uns bevorzugte Nervenstrecke nicht weit unterhalb des Abganges des stärksten Oberschenkelastes, und wir legen, wo eine Querschnittfläche für den Versuch erforderlich ist, den Querschnitt am Nerven dicht unterhalb des Abganges des untersten Oberschenkelastes an. Ueberhaupt machen wir, auch was die Länge der intrapolaren Nervenstrecke, die Lebensfähigkeit und die Dicke des Nerven betrifft, die Versuche möglichst unter einander vergleichbar; doch können wir selbst die sonst erreichbare[1] Genauigkeit hier nicht beanspruchen wegen der zu grossen Ausdehnung, welche die Versuchsreihen der Zeitdauer wie der Zahl der Versuche nach gewinnen.

Die Variation des Widerstandes der Zuleitungsröhren, welche mit der Variation der den Thon tränkenden Flüssigkeit einhergeht, lässt bei der Untersuchung, so lange die Tränkungsflüssigkeit nicht wesentlich schlechter leitet als die 1%ige Kochsalzlösung, sich vernachlässigen, weil der Widerstand der Zuleitungsröhren dann immer wieder gegen den Widerstand der Nervenstrecke verschwindet und auch während der Durchströmung nur sehr wenig abnimmt [vgl. o. Kap. II. § 1 (1)]. Aber schon bei dem Brunnenwasser ist der Widerstand der Zuleitungsröhren in Betracht zu ziehen, und seine Bedeutung wächst dann noch bei den alkoholischen Flüssigkeiten rasch mit dem Alkoholgehalte; ist der Thon beider Zuleitungsröhren mit dem Alkohol No. 1. oder der Thon einer der beiden Zuleitungsröhren mit absolutem Alkohol getränkt, so übertrifft der Widerstand der Zuleitungsröhren den Widerstand sogar einer 10^{mm} langen Nervenstrecke noch wesentlich. Für Brunnenwasser und Alkohol muss deshalb einerseits festgehalten werden, dass die Widerstandsveränderung der Nervenstrecke bei der Durchströmung in Wahrheit grösser ist, als sie unmittelbar durch die Versuche sich herauszustellen scheint; andererseits muss von den zur Beobachtung kommenden Widerstandsveränderungen, um die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke allein zu erhalten, die, wie eigens darauf gerichtete Versuche ergeben, bei dem Brunnenwasser noch geringe, bei den alkoholischen Flüssigkeiten aber mit dem Alkoholgehalte rasch wach-

1) Vgl. oben Kap. III. § 1 (1b).

sende Widerstandsabnahme, welche die Zuleitungsröhren bei ihrer Durchströmung erfahren, in Abzug gebracht werden. Der Widerstand von Zuleitungsröhren, deren Thon mit absolutem Alkohol angerieben ist, nimmt übrigens auch öfters, wohl durch die Verdunstung des Alkohols, zu und verändert sich überhaupt im Allgemeinen so rasch und so unregelmässig, dass brauchbare Versuche am Nerven nicht wohl sich gewinnen lassen.

Eine vollständige Uebersicht über die Ergebnisse der Untersuchung würde der Registrirung fast aller Versuche der Reihe nach gleichkommen, da nahezu bei jeder Flüssigkeit und bei jeder Modification des Versuchsverfahrens interessante Besonderheiten sich zeigen. Solche Registrirung muss jedoch unterbleiben, und wir beschränken uns darauf, die an sich werthvollsten und auch für die Folge wichtigsten Erfahrungen bei einem Daniell in der ungespaltenen Strecke des Stromnetzes (nach Eliminirung der durch die Polarisation, die Erwärmung des Vergleichswiderstandes und die Widerstandsveränderungen der Zuleitungsröhren bedingten Fehler) herauszuheben. Der Kürze halber wollen wir dabei, wo der mit einer gewissen Flüssigkeit getränkte Thon gemeint ist, von dieser Flüssigkeit selbst sprechen.

Der Strom trete zuerst immer an der Querschnittfläche des Nerven ein und an einer mittleren Stelle des Nerven in 1 %ige Kochsalzlösung aus: wir variiren die Flüssigkeit der Stromeintrittsseite. Bei den Kochsalzlösungen verschiedener Concentration, der kohlensauren Kalilösung und der Glaubersalzlösung nimmt dann der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke bei der Durchströmung etwa ebenso lange und ebenso rasch ab wie bei der 1 %igen Kochsalzlösung (s. o. § 1.), bei der Salmiaklösung in der Regel etwas rascher. Bei der Chlorcalciumlösung hingegen, der Kupfervitriollösung, der Sublimatlösung und der Schwefelsäure ist die Widerstandsabnahme kleiner, dauert nur 4—10 Minuten an und geht darauf in eine langsame Zunahme des Widerstandes über. Noch kürzer ist die anfängliche Widerstandsabnahme und rascher die nachfolgende Widerstandszunahme bei dem Brunnenwasser, den verdünnten Zinkvitriollösungen No. 2. und 3. und den Alkoholgemischen, bei den letzteren desto mehr, je grösser der Alkoholgehalt ist. Bei der Gerbsäure endlich, der Essigsäure, der concentrirten Zinkvitriollösung und der verdünnten Zinkvitriollösung No. 1. nimmt der Widerstand von vornherein zu, die Zunahme ist jedoch immer noch eine mässige. — Wird nach einer längeren Durchströmung der Nervenstrecke die Stromrichtung umgekehrt, so nimmt, selbst bei sehr grosser Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der ursprünglich negativen Zuleitungsröhre, der Widerstand der Nervenstrecke überall zu.

Es trete weiter der Strom an einer scharfen Thonspitzenkante in eine mittlere Stelle des Nerven ein und von einer mittleren Stelle des Nerven

an einer sehr stumpfen Thonspitzenkante in 1%ige Kochsalzlösung aus: wir variiren wiederum die Flüssigkeit der Stromeintrittsseite. Alsdann nimmt der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke nur bei der Salmiaklösung regelmässig und häufig auch bei der verdünnten Kochsalzlösung No. 1. ab, bei allen anderen Flüssigkeiten aber zu; bei der Schwefelsäure und hin und wieder auch bei der Essigsäure geht der Zunahme eine kurze Abnahme des Widerstandes vorauf. Bei der Salmiaklösung ist in der Abnahme und bei der Essigsäure in der Zunahme des Widerstandes ein Unterschied gegen den zuerst betrachteten Fall (des Stromeintrittes an der Querschnittfläche) nicht mit Sicherheit zu constatiren. Bei den Kochsalzlösungen wird von der 1%igen an mit wachsender Concentration die Zunahme geringer, bis bei der verdünnten Kochsalzlösung No. 1. sogar die angegebene Abnahme des Widerstandes erfolgt, die aber kleiner ist als im zuerst betrachteten Falle; bei der concentrirten Kochsalzlösung nimmt der Widerstand rasch zu. Die Zunahme des Widerstandes ist mässig bei der Glaubersalzlösung und der kohlensauren Kalilösung; grösser und die Zunahme im zuerst betrachteten Falle stets wesentlich übertreffend bei der Kupfervitriollösung, der Sublimatlösung, der Schwefelsäure, der Gerbsäure und dem Brunnenwasser; beträchtlich und die Zunahme im zuerst betrachteten Falle stets viel übertreffend bei der Chlorcalciumlösung, den Alkoholgemischen und den verdünnten Zinkvitriollösungen; endlich sehr beträchtlich bei der concentrirten Zinkvitriollösung. — Wird nach einer längeren Durchströmung der Nervenstrecke die Stromrichtung umgekehrt, so nimmt der Widerstand der Nervenstrecke lange Zeit zu bei der Schwefelsäure, der Essigsäure, der Gerbsäure, der Kupfervitriollösung, der Sublimatlösung und dem Brunnenwasser; kurze Zeit zu und danach ab bei den Alkoholgemischen; kurze Zeit ab und dann zu bei der concentrirten Kochsalzlösung, der verdünnten Kochsalzlösung No. 1. und der kohlensauren Kalilösung; lange Zeit ab bei allen anderen Flüssigkeiten und zwar am beträchtlichsten bei der concentrirten Zinkvitriollösung, am unbeträchtlichsten bei der Salmiaklösung.

Ferner sei der Nerv zwei sehr stumpfen Thonspitzenkanten mit mittleren Stellen aufgelagert, und die Austrittsflüssigkeit sei immer 1%ige Kochsalzlösung, die Eintrittsflüssigkeit aber wechsele. Bei der Salmiaklösung und der Essigsäure ergiebt sich alsdann keine sichere Abweichung von den beiden vorbetrachteten Fällen; bei der verdünnten Kochsalzlösung No. 1. und dem Brunnenwasser keine sichere Abweichung von dem ersten Falle (des Stromeintrittes an der Querschnittfläche); bei der kohlensauren Kalilösung keine sichere Abweichung von dem zweiten Falle (des Stromeintrittes an der scharfen Thonspitzenkante). Bei allen übrigen Flüssigkeiten nimmt der Widerstand der Nervenstrecke langsamer als im

zweiten Falle und, wenn auch im ersten Falle der Widerstand gewachsen ist, rascher als in diesem Falle zu. Der Unterschied in der Geschwindigkeit der Widerstandszunahme ist bei der Schwefelsäure, der Gerbsäure, der Kupfervitriollösung und der Sublimatlösung gegen den ersten Fall nur gering, bei den anderen Flüssigkeiten aber sowohl gegen den ersten wie gegen den zweiten Fall beträchtlich. — Wird nach einer längeren Durchströmung der Nervenstrecke die Stromrichtung umgekehrt, so zeigt sich ohngefähr dasselbe Verhalten des Widerstandes wie im zweiten Falle.

Endlich seien die beiden Thonspitzen, welchen der Nerv mit mittleren Stellen aufgelagert ist, immer mit einer und derselben Flüssigkeit getränkt, diese Tränkungsflüssigkeit aber wechsele. Der Widerstand der Nervenstrecke nimmt alsdann zu; nur bei der Salmiaklösung, der Glaubersalzlösung und der verdünnten Kochsalzlösung No. 1. tritt unmittelbar oder nach einer kurzen anfänglichen Zunahme eine Abnahme des Widerstandes auf, die aber auch häufig bald wieder in eine Zunahme des Widerstandes übergeht. Wird darauf nach einer längeren Durchströmung der Nervenstrecke die Stromrichtung umgekehrt, so nimmt der Widerstand nach einer mehr oder weniger langen Abnahme zu; nur bei dem Brunnenwasser und den Alkoholgemischen nimmt der Widerstand immer sogleich zu, und zwar ist die Zunahme bei dem Brunnenwasser andauernd, geht aber bei den Alkoholgemischen früher oder später in eine Abnahme des Widerstandes über. Bleibt nun die Nervenstrecke in der neuen Richtung längere Zeit durchströmt und wird danach die ursprüngliche Stromrichtung wiederhergestellt, so nimmt bei dem Brunnenwasser und den Alkoholgemischen der Widerstand immer längere Zeit ab, ehe er zunimmt; bei den anderen Flüssigkeiten nimmt der Widerstand wiederum, wie nach der ersten Umkehrung der Stromrichtung, nach einer mehr oder weniger langen Abnahme zu. — Die Ergebnisse dieser letzten Reihe von Versuchen sind übrigens, ausser wenn Brunnenwasser oder Alkoholgemische oder Zinkvitriollösung oder Schwefelsäure oder endlich sehr verdünnte Kochsalzlösung den Thon tränken, schon vor der Umkehrung der Stromrichtung, wie die Ergebnisse der voraufgegangenen Versuchsreihen erst nach der Umkehrung der Stromrichtung, vielleicht manchmal nicht ganz zuverlässig, weil dann durch den Austritt der Flüssigkeit des Thones in die Zinkvitriollösung der negativen Zuleitungsröhre Ungleichartigkeiten und Polarisationen bedingt sind, welche zwar beachtet, aber nicht genauer verfolgt worden sind.

Dem scheinbar bunten Durcheinander, welches so die Widerstandsveränderungen darbieten, geben kaum etwas nach die anderweitigen Veränderungen, welche man an den durchströmten Nerven bei denselben Versuchen wahrnimmt. Sie betreffen die Gestalt, die Consistenz, die

Durchsichtigkeit und die physiologische Leistungsfähigkeit des Nerven und sind, wenn wir sie in den beiden ersten vorbetrachteten Fällen verfolgen, wie sie die grobe Untersuchung ergiebt, folgende.

Bei der Kupfervitriollösung, der Schwefelsäure, der Sublimatlösung, dem absoluten Alkohol und dem Alkoholgemische No. 1. erscheint der Nerv in der Stromeintrittsgegend bei auffallendem Lichte weiss, bei durchfallendem Lichte trübe und undurchsichtig, zugleich steif und etwas verengt. Die Veränderung erstreckt sich im ersten Falle auf mehrere Mm. vom Querschnitte aus, im zweiten Falle auf einige Mm. diesseits und jenseits der Stromeintrittsstelle und zwar nach innen etwas weiter als nach aussen; die Verengung ist im ersten Falle in der ganzen Strecke eine gleichmässige, nimmt aber im zweiten Falle von der Berührungsstelle aus nach beiden Seiten hin ab. Nach der gleichen Durchströmung ist die Länge der veränderten Nervenstrecke bei der Kupfervitriollösung immer wesentlich grösser als bei den anderen Flüssigkeiten. Erst da, wo die Trübung gegen den Muskel hin aufgehört hat, wird der Nerv noch mechanisch erregbar gefunden.

Auch bei der Gerbsäure treten, wie bei den vorbehandelten Flüssigkeiten, die Steife und die Verengung des Nerven in der Stromeintrittsgegend auf, nur sind sie weniger ausgesprochen und im ersten Falle über eine wesentlich längere Strecke des Nerven verbreitet als im zweiten Falle. Eine Trübung und ein Undurchsichtigwerden des Nerven sind aber hier nicht wahrzunehmen, das Ansehen des Nerven erscheint vielmehr unverändert[1]. Der Nerv wird immer erst in einem etwa ebenso grossen Abstande von der Stromeintrittsstelle mechanisch erregbar gefunden wie bei der Kupfervitriollösung.

Ganz abweichend von den Veränderungen bei der Kupfervitriollösung sind die Veränderungen bei der concentrirten Zinkvitriollösung. Zwar schrumpft auch bei dieser der Nerv — und sogar in höherem Grade als bei der Kupfervitriollösung — im ersten Falle vom Querschnitte aus und im zweiten Falle von der Stromeintrittsstelle aus nach beiden Seiten hin abnehmend; zwar ist auch bei dieser in der geschrumpften Strecke die Consistenz des Nerven vergrössert und die Durchsichtigkeit des Nerven verändert: trotzdem liegt ein principieller Unterschied vor. Er spricht sich sofort durch den Mangel der Trübung bei der Zinkvitriollösung aus und lässt sich des Genaueren, wie er bei der ersten Betrachtung der Nerven

1) Im zweiten Falle hat sich manchmal an der Stromeintrittsstelle, der Berührungsfläche mit der Thonspitzenkante an Ausdehnung genau entsprechend, eine circumscripte intensiv braungelbe Stelle am Nerven gezeigt; die Zerfaserung des Nerven ergab, dass die Färbung nur oberflächlich war, aber sicherlich nicht allein das Neurilemm, sondern auch die der Kante benachbarten Nervenfaserschichten betraf.

unmittelbar sich aufdrängt, nur etwa so schildern: die geschrumpfte Nervenstrecke hat bei der Zinkvitriollösung das Ansehen, als ob der Nerveninhalt fortgeschafft sei und nur oder fast nur die Nervenscheiden übrig seien, bei der Kupfervitriollösung hingegen das Ansehen, als ob der Nerveninhalt chemisch verändert und zwar geronnen oder ein Niederschlag in ihm erzeugt sei. Im zweiten Falle gewährt bei der Zinkvitriollösung die höchst verengte Stromeintrittsstelle ganz das Bild, wie wenn eine Ligatur an dieser Stelle angelegt gewesen und der Faden wieder entfernt wäre; die Verengung des Nerven nimmt dann nach innen hin rascher ab als nach aussen. Der Nerv wird nach langer Durchströmung im ersten Falle immer noch dicht am Querschnitte und im zweiten Falle immer noch oberhalb der durchströmten Strecke mechanisch gut erregbar gefunden.

Bei den verdünnten Zinkvitriollösungen No. 1. und 2. sind die Verengung und die Steife der Stromeintrittsgegend geringer als bei der concentrirten Zinkvitriollösung, und die Verengung ist im zweiten Falle von der Stromeintrittsstelle aus nach beiden Seiten hin ziemlich gleich weit in abnehmender Grösse ausgedehnt. Eine Trübung ist hier ebenso wenig zu constatiren, andererseits hat aber auch die Stromeintrittsstelle nicht mehr so das Ansehen einer Ligaturstelle. Die Leistungsfähigkeit des Nerven ist wie bei der concentrirten Zinkvitriollösung erhalten.

Bei der Essigsäure quillt der Nerv von der Stromeintrittsstelle aus rasch auf wie zu einer Gallerte und wird dabei sehr aufgehellt und viel durchsichtiger. Die Intensität der Veränderung nimmt im ersten Falle vom Querschnitte aus allmählich ab, im zweiten Falle von der Stromeintrittsstelle nach aussen hin rascher ab als nach innen hin. Bei der weniger verdünnten Essigsäure schreitet die Quellung rascher vor als bei der mehr verdünnten und bei der letzteren immer noch rascher als die Trübung bei der Kupfervitriollösung. Soweit die Quellung sich erstreckt, ist der Nerv mechanisch nicht mehr erregbar. Mit der Quellung scheint übrigens eine Tendenz zur Verkürzung des Nerven verbunden zu sein; denn es kommt bei rascher Quellung manchmal vor, dass der Querschnitt des Nerven von der Thonspitze, welcher er angelegt ist, sich zurückzieht, so dass der Schliessungskreis unterbrochen wird.

Mit dem Aufquellen des Nerven bei der Essigsäure ist nicht zu verwechseln die beträchtliche Anschwellung der Stromeintrittsgegend des Nerven, welche bei der Salmiaklösung im ersten Falle in der Regel rasch sich bildet. Sie ist unmittelbar an der Querschnittfläche am grössten und nimmt ziemlich rasch ab; die Durchsichtigkeit des Nerven ist in der angeschwollenen Strecke etwas vergrössert, kommt jedoch lange nicht der Durchsichtigkeit bei der Essigsäure gleich. Der angeschwollenen Stromeintrittsgegend folgt dann eine verengte, steife, meist etwas gelbliche

Strecke: und durch diese Verengung, welche bei der Essigsäure nicht vorkommt, wie durch den Umstand, dass die Anschwellung bei der Salmiaklösung schon nach einer Durchströmung von wenigen Minuten sicher nicht mehr in der Richtung des Stromes vorschreitet, sind die Veränderungen bei der Essigsäure und bei der Salmiaklösung auf das Bestimmteste unterschieden. Im zweiten Falle ist bei der Salmiaklösung die Stromeintrittsgegend entweder von der Stromeintrittsstelle aus nach beiden Seiten hin — und zwar nach innen rascher als nach aussen — abnehmend verengt; oder es finden sich zu beiden Seiten der sehr verengten Stromeintrittsstelle Anschwellungen des Nerven von geringer Ausdehnung, welchen wiederum beiderseits allmählich abnehmende Verengungen des Nerven folgen: die verengten Stellen sind auch hier steifer und gelblich. Nach einer längeren Durchströmung wird der Nerv im zweiten Falle in der Regel noch oberhalb der durchströmten Strecke mechanisch erregbar gefunden; im ersten Falle ist es aber nicht gelungen, durch mechanische Reizung des Nerven in der Nähe des Querschnittes Muskelzuckung herbeizuführen.

Bei dem Brunnenwasser und den Alkoholgemischen No. 2. und 3. erscheint manchmal im ersten, selten im zweiten Falle die Stromeintrittsgegend etwas angeschwollen; sonst kommt aber keine Veränderung weiter zur Beobachtung. Die Leistungsfähigkeit des Nerven wird durch die Durchströmung nirgends aufgehoben gefunden.

Unter den übrigen Flüssigkeiten ist im ersten Falle nur noch bei der concentrirten Kochsalzlösung eine Schrumpfung und Steife der Stromeintrittsgegend auf mehrere Mm. Länge sicher zu constatiren. Dagegen zeigt sich im zweiten Falle bei allen im Voraufgegangenen noch nicht behandelten Flüssigkeiten eine Verengung der Stromeintrittsgegend, welche an der Stromeintrittsstelle selbst am grössten ist und nach beiden Seiten hin abnimmt. Die Consistenz des Nerven ist in eben der Gegend vermehrt und die Durchsichtigkeit vermindert, wie wir es zuerst bei der 1%igen Kochsalzlösung kennen gelernt haben (s. o. S. 107.). Nach längerer Durchströmung ist hier der Nerv immer noch dicht am Querschnitte resp. oberhalb der durchströmten Nervenstrecke mechanisch gut erregbar.

In allen vorbehandelten Fällen zeigt sich, wie noch nachzuholen ist, in der Stromaustrittsgegend mehr oder minder deutlich die mässige Anschwellung des Nerven, welcher wir schon früher, als die 1%ige Kochsalzlösung Zu- und Ableitungsflüssigkeit war, begegnet sind (s. o. S. 105.). Treten aber, wie im oben betrachteten vierten Falle, andere Flüssigkeiten an die Stelle der 1%igen Kochsalzlösung auf der Stromaustrittsseite, so wird die Anschwellung nur noch bei dem Brunnenwasser, der verdünnten Kochsalzlösung No. 3. und den Alkoholgemischen No. 2. und 3. bemerkt. Bei der Schwefelsäure, der Essigsäure, der Gerbsäure, der Kupfervitriol-

lösung, der Sublimatlösung, dem absoluten Alkohol und dem Alkoholgemische No. 1. ist dann die Stromaustrittsgegend der Stromeintrittsgegend entsprechend verändert; die Veränderung erstreckt sich jedoch lange nicht so weit wie in der Stromeintrittsgegend, nämlich meist nicht über die Berührungsfläche des Nerven mit der negativen Thonspitze hinaus, und die Verengung ist in der ganzen veränderten Strecke immer eine gleichmässige, wie in der Stromeintrittsgegend — die Essigsäure ausgenommen — nur in dem Falle, dass eine Querschnittfläche des Nerven dem Strome zum Eintritte diente. Lag bei den zuletzt genannten Flüssigkeiten die Stromaustrittsstelle unterhalb der Stromeintrittsstelle, also dem Muskel näher als die letztere, so wird der Nerv nach der Durchströmung immer nur noch unterhalb der getrübten resp. gequollenen Stromaustrittsstelle mechanisch erregbar gefunden.

Dem Gange, welchen wir bisher zu nehmen gewohnt waren, folgend, müssten wir nunmehr auf die inneren Vorgänge zu sprechen kommen, welche in der intrapolaren Nervenstrecke unter allen den verschiedenen Umständen statthaben. Indessen ergeben sogleich die nächsten Ueberlegungen, dass für das Verständniss dieser Vorgänge die bezügliche Grundlage unserer Untersuchungen, wie sie in der Einleitung (Abschn. I.) vorliegt, unzureichend ist. Wir schieben deshalb vortheilhaft alles Weitere auf, bis wir im Kap. VI. dem Mangel, welcher sich hier herausstellt, werden abgeholfen haben.

Versuch 138.

Der Thon von z_1 ist mit concentrirter, der Thon von z mit 1%iger Kochsalzlösung angerieben. Die Thonspitzenkante von z_1 ist scharf, die von z stumpf.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell.

9 *h*. 28 *m*. Mittelgrosse Rana esc. ††.

33 *m*. Ischiadicus der Thonspitze von z_1 mit Querschnittfläche angelegt und der Thonspitze von z mit mittlerer Stelle aufgelagert.

Bei Oeffnung der Bussole $1\frac{2}{3}^{sc}$ Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend.

39 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei z_1.

10″. 422. Der Widerstand nimmt ab.

40 *m*. 417.

42 *m*. 415.

48 *m*. 410,5.

54 *m*. 409. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *z*.

9 *h.* 54 *m.* 15″. 383. Der Widerstand nimmt zu.
55 *m.* 393.
57 *m.* 401,5. *K* geöffnet. — 2*sc* Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend.

Der Ischiadicus ist mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 12^{mm}$ (davon $a = 5^{mm}$); $am = 6^{mm}$.

Versuch 139.

Alles wie bei Vers. 138.

10 *h.* 7 *m.* Zweiter Ischiadicus des zum Vers. 138. †† Frosches mit zwei mittleren Stellen auf *z* und z_1 gelegt.
10 *m.* *K* geschlossen. Stromeintritt bei z_1.
15″. 619. Der Widerstand nimmt zu.
11 *m.* 620.
13 *m.* 627.
16 *m.* 643.
20 *m.* 659.
26 *m.* 676. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *z*.
10″. 631,5. Der Widerstand nimmt ab.
27 *m.* 624.
10″. 623. Jetzt nimmt der Widerstand zu.
28 *m.* 627.
29 *m.* 634.
31 *m.* 636. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei z_1.
10″. 660. Der Widerstand nimmt zu.
32 *m.* 663.
33 *m.* 669,5. *K* geöffnet. — 1*sc* Ablenkung, Strom von *a* nach *b* anzeigend.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab=13^{mm}$ (davon $a=4^{mm}$); $am=9^{mm}$; $bo=4^{mm}$; $bw=29^{mm}$.

Versuch 140.

Der Thon von z_1 ist mit concentrirter Zinkvitriollösung, der Thon von *z* mit 1%iger Kochsalzlösung getränkt. Die Thonspitzenkante von z_1 ist scharf, die von *z* stumpf.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell.

12 *h.* 14 *m.* Mittelgrosse Rana esc. ††.

12 *h*. 19 *m*. Ischiadicus der Thonspitze von z_1 mit Querschnittfläche angelegt und der Thonspitze von z mit mittlerer Stelle aufgelagert.

Bei Oeffnung der Bussole $2\frac{1}{2}^{sc}$ Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend.

25 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei z_1.

10″. 481. Der Widerstand nimmt zu.

26 *m*. 483.

27 *m*. 487.

29 *m*. 495,5.

32 *m*. 501,5.

35 *m*. 508,5. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei z.

15″. 525. Der Widerstand nimmt zu.

36 *m*. 530.

40 *m*. 548. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei z_1.

15″. 508. So erhält sich der Widerstand bis

41 *m*. wo *K* geöffnet wird. — $1\frac{2}{3}^{sc}$ Ablenkung wie zuerst.

Der Ischiadicus ist mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 13^{mm}$ (davon $a = 5^{mm}$); $am = 7^{mm}$.

Versuch 141.

Alles wie bei Vers. 140.

12 *h*. 47 *m*. Zweiter Ischiadicus des zum Vers. 140. †† Frosches mit zwei mittleren Stellen auf z und z_1 gelegt.

Bei Oeffnung der Bussole fast 1^{sc} Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend.

51 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei z_1.

10″. 685. Der Widerstand nimmt zu.

52 *m*. 706.

54 *m*. 758.

57 *m*. 850.

1 *h*. 0 *m*. 935.

3 *m*. 1030.

6 *m*. 1150. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei z.

20″. 1086. Der Widerstand nimmt ab.

7 *m*. 1036.

1 *h*. 9 *m*. 988.
11 *m*. 959. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei z_1.
20″. 951. Nach einer ganz kurzen Abnahme Zunahme des Widerstandes.
12 *m*. 973.
13 *m*. 1025.
14 *m*. 1080.
16 *m*. 1180. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung wie zuerst.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 13^{mm}$ (davon $a = 5^{mm}$); $am = 5^{mm}$; $bo = 4^{mm}$; $bw = 28^{mm}$.

Versuch 142.

Der Thon von z_1 ist mit Brunnenwasser, der Thon von z mit 1%iger Kochsalzlösung getränkt. Die Thonspitzenkante von z_1 ist scharf, die von z stumpf.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell.

5 *h*. 33 *m*. Zweiter Ischiadicus eines 4 *h*. 52 *m*. ++ mittelgrossen Frosches der Thonspitze von z_1 mit Querschnittfläche angelegt und der Thonspitze von z mit mittlerer Stelle aufgelagert. Bei Oeffnung der Bussole c. 4^{sc} Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend.
37 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei z_1.
15″. 431. Der Widerstand nimmt ab.
38 *m*. 430. Jetzt nimmt der Widerstand zu.
41 *m*. 432,5.
45 *m*. 435,5.
52 *m*. 442. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei z.
15″. 498. Der Widerstand nimmt zu.
53 *m*. 503.
6 *h*. 6 *m*. 523. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei z_1.
20″. 455. Der Widerstand nimmt ab.
7 *m*. 453,5. So erhält sich der Widerstand bis
8 *m*. wo *K* geöffnet wird. c. 4^{sc} Ablenk. wie zuerst.

Der Ischiadicus ist mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 12^{mm}$ (davon $a = 4^{mm}$); $am = 8^{mm}$.

Versuch 143.

Der Thon von z und z_1 ist mit Brunnenwasser getränkt. Die Thonspitze von z_1 hat eine gewöhnliche, die von z eine stumpfe Kante.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell.

12*h*.	25 *m*.			Mittelgrosse Rana esc. ††.
	29 *m*.			Ischiadicus mit zwei mittleren Stellen aufgelegt. (Bei Oeffnung der Bussole spurweise Ablenkung.)
	34 *m*.			*K* geschlossen. Stromeintritt bei z_1.
		10″.	753.	Der Widerstand nimmt zu.
	35 *m*.		756.	
	36 *m*.		762.	
	40 *m*.		777.	
	44 *m*.		787.	Bei Oeffnung von *K* auf 20″: spurweise Ablenkung.
	48 *m*.		794.	
	54 *m*.		807.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei z.
		20″.	809.	Der Widerstand nimmt zu.
	55 *m*.		817.	
	57 *m*.		826.	
1 *h*.	1 *m*.		836.	
	4 *m*.		838.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei z_1.
		20″.	838.	Der Widerstand nimmt ab.
	5 *m*.		837.	
	9 *m*.		836.	Jetzt nimmt der Widerstand zu.
	11 *m*.		837.	
	14 *m*.		839,5.	
	19 *m*.		845,5.	

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 10^{mm}$; $am = 9^{mm}$; $bo = 5^{mm}$; $bw = 31^{mm}$.

§ 3. Freie Flüssigkeiten als Zu- und Ableiter des Stromes.

An Stelle des mit verschiedenen Flüssigkeiten getränkten Thones wollen wir weiter verschiedene freie Flüssigkeiten den Strom dem Nerven zuführen und von ihm fortführen lassen.

Die Flüssigkeiten, welche wir wählen, sind die oben S. 372. aufgeführten und ausserdem noch

Kalihydratlösung, concentrirt;

Salpetersaure Silberoxydlösung, concentrirt;

1%ige Kochsalzlösung;
Flüssiges Hühnereiweiss.

Zur Aufnahme der Flüssigkeiten dienen den *Pflüger*'schen Eiweisselektroden[1] nachgebildete und in der *Pflüger*'schen Klemme[2] befestigte Glasröhren von 90mm Länge und 3mm Durchmesser (im Lichten), welche zweimal rechtwinkelig gebogen sind und an dem einen Ende so sich verschmälern, dass ihr Durchmesser an der Spitze nur 1—1,5mm beträgt, an dem anderen Ende aber einen weiten pfeifenkopfartigen Ansatz tragen. In den Pfeifenkopf wird soviel Flüssigkeit eingegossen, dass die Glasröhre bis zum äussersten spitzen Ende gefüllt ist; und es wird dann bei den Zinkvitriollösungen unmittelbar die verquickte Zinkelektrode, bei den übrigen Flüssigkeiten unsere gewöhnliche Zuleitungsröhre mit Thonspitze[3] in die Flüssigkeit des Pfeifenkopfes versenkt.

Wir füllen stets beide Glasröhren mit derselben Flüssigkeit und lagern ihren Spitzen den Nerven mit zwei mittleren Stellen so auf, dass die intrapolare Strecke wiederum die schon sonst von uns bevorzugte Nervenstrecke nicht weit unterhalb des Abganges des stärksten Oberschenkelastes ist; die Nerven, welche wir zu den Versuchen verwenden, sind immer erst vor Kurzem getödteten Thieren von möglichst gleicher Grösse und gleichem Ernährungszustande entnommen. So wiederholen wir, mit einem Daniell in der ungespaltenen Strecke des Stromnetzes, die Versuche des Kap. II.

Bei der Kalihydratlösung, der Salmiaklösung, der verdünnten Kochsalzlösung No. 1., der Glaubersalzlösung und der Chlorcalciumlösung nimmt der Widerstand der Nervenstrecke von vornherein und dauernd ab und zwar bei den beiden ersten Flüssigkeiten sehr rasch, bei den drei letzten Flüssigkeiten langsamer; bei der Chlorcalciumlösung ist die Abnahme manchmal durch eine ganz kurze und unbedeutende Zunahme unterbrochen. Bei der concentrirten Kochsalzlösung nimmt der Widerstand meist nach einer kurzen anfänglichen Abnahme zu, manchmal aber nimmt er gleichfalls von vornherein und dauernd ab. Regelmässig nimmt nach einer kurzen anfänglichen Abnahme der Widerstand zu bei den Alkoholgemischen, dem Brunnenwasser, dem Eiweiss, den verdünnten Kochsalzlösungen No. 2. und 3., der 1%igen Kochsalzlösung, der verdünnten Zink-

1) *Pflüger*, Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus. S. 98 ff.* — Vgl. *Heidenhain*, Studien des physiologischen Instituts zu Breslau. Heft I. 1861. S. 20—21*. — *E. du Bois-Reymond*, Ueber den secundären Widerstand u. s. w. A. a. O. S. 898*; 900*.

2) *Pflüger*, a. a. O. S. 99*.

3) S. o. S. 31. — Natürlich braucht hier nur das untere Ende der Röhre mit dem Thone verschmiert und nicht erst eine eigentliche Thonspitze geformt zu sein.

vitriollösung Nr. 3., der Kupfervitriollösung, der Sublimatlösung, der salpetersauren Silberoxydlösung und der Schwefelsäure. Endlich nimmt der Widerstand von vornherein und dauernd zu bei der Essigsäure, der Gerbsäure, der kohlensauren Kalilösung, der concentrirten Zinkvitriollösung und den verdünnten Zinkvitriollösungen No. 2. u. 3. — Wird nach einer längeren Durchströmung der Nervenstrecke die Stromrichtung umgekehrt, so nimmt der Widerstand dauernd ab bei der Kalihydratlösung, der Salmiaklösung, der verdünnten Kochsalzlösung No. 1. und der Glaubersalzlösung; dauernd zu bei der Essigsäure; einige Zeit zu und erst danach ab bei der concentrirten Kochsalzlösung und der Chlorcalciumlösung; endlich nach einer mehr oder weniger langen Abnahme zu bei allen anderen Flüssigkeiten, und zwar ist die anfängliche Abnahme wie die nachfolgende Zunahme des Widerstandes immer am geringsten bei den Alkoholgemischen und dem Brunnenwasser, so dass hier auch häufig eine längere Zeit hindurch der Widerstand constant bleibt.

Für diese Uebersicht der Ergebnisse sind die Fehlerquellen, welche durch das Auftreten elektromotorischer Kräfte im Nervenzweige bedingt sind, bereits berücksichtigt. Aber noch zwei andere wesentliche Fehlerquellen kommen in Betracht. Die eine geben die Widerstandsveränderungen ab, welche die zuleitenden Theile bei der Durchströmung erfahren. Diese sind, sobald die Leitungsfähigkeit der in den Glasröhren enthaltenen Flüssigkeit nicht gross ist, nicht mehr zu vernachlässigen und machen die Versuchsergebnisse, wenn man sie ohne Weiteres auf den Nerven überträgt, in der oben S. 373. angegebenen Weise fehlerhaft: wahrscheinlich ist die anfängliche Abnahme des Widerstandes bei dem Brunnenwasser und den Alkoholgemischen ganz den Widerstandsveränderungen der zuleitenden Theile zuzuschreiben. Die zweite Fehlerquelle ist darin gelegen, dass die Flüssigkeiten von den Spitzen der Glasröhren aus mehr oder weniger rasch am Nerven weiterkriechen, über längere oder kürzere Strecken des Nerven neben den Glasspitzen sich verbreiten und dadurch Nebenschliessungen zu der Nervensubstanz selbst bilden. Die Bedeutung dieser Fehlerquelle lässt sich des Genaueren nicht übersehen; nur das lässt sich sagen, dass sie eine Abnahme des Widerstandes zur Folge haben muss und zwar eine desto grössere Abnahme, je grösser die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeit ist und je rascher die Flüssigkeit sich verbreitet. Die sehr rasche Abnahme des Widerstandes bei der Kalihydratlösung und der Salmiaklösung beruht wohl zu einem Theile auf dieser Fehlerquelle. Bei der concentrirten Kochsalzlösung ist durch besondere Versuche die Ueberzeugung gewonnen worden, dass die dauernde Abnahme des Widerstandes, wo dieselbe zur Beobachtung kommt, durch die rasche Verbreitung der Flüssigkeit bedingt ist: durch die lose Auflagerung des Nerven

auf die Glasspitzen, so dass der Nerv zu den Seiten jeder Spitze schräg nach unten verlief, liess sich nämlich die dauernde Widerstandsabnahme herbeiführen, während immer nach einer kurzen Abnahme eine Zunahme des Widerstandes auftrat, wenn der Nerv so straff auf die Glasspitzen gebracht war, dass er horizontal verlief.

Die anderweitigen Veränderungen des Nerven, welche neben den Widerstandsveränderungen einhergehen, treten hier so auf, wie wir sie oben S. 377 ff. im zweiten Falle gefunden haben; nur dass die Verengung der Stromeintrittsgegend hier überall unbedeutender als dort ist. Bei den concentrirten Alkalisalzlösungen zeigt sich in der Stromeintrittsgegend häufig neben einer mässigen Verengung der Stromeintrittsstelle selbst jederseits eine Anschwellung des Nerven, der wiederum eine Verengung folgt. Eben dieses Bild gewährt die Stromeintrittsgegend auch bei der Kalihydratlösung, bei welcher ferner die Stromaustrittsgegend angeschwollen und der Nerv zwischen den Glasspitzen wie zunächst ausserhalb derselben sehr aufgehellt sich darstellen. Bei der salpetersauren Silberoxydlösung beobachtet man dieselben Veränderungen des Nerven und in etwa derselben Ausdehnung wie bei der Kupfervitriollösung; die veränderten Nervenstrecken sind braun gefärbt. Bei dem Eiweisse und der 1%igen Kochsalzlösung zeigt sich eine geringe Verengung in der Stromeintrittsgegend und eine Anschwellung in der Stromaustrittsgegend. Die Leistungsfähigkeit des Nerven ist bei den beiden letztgenannten Flüssigkeiten nach der Durchströmung nirgends aufgehoben; bei der salpetersauren Silberoxydlösung und der Kalihydratlösung aber wird der Nerv nach der Durchströmung erst ziemlich weit unterhalb der dem Muskel zunächst gelegenen Stromein- oder Stromaustrittsstelle mechanisch erregbar gefunden.

Wiederum und aus demselben Grunde, wie im § 2., stehen wir hier davon ab, die inneren Vorgänge in der intrapolaren Nervenstrecke in Betracht zu ziehen; und wir gehen sogleich daran, eine neue Art der Zu- und Ableitung des Stromes zu untersuchen.

Versuch 144.

Die beiden Glasröhren sind mit frischem Hühnereiweiss gefüllt.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell.

7 *h*.	51 *m*.	Mittelgrosse Rana esc. ††.	
	56 *m*.	Ischiadicus mit zwei mittleren Stellen aufgelegt.	
8 *h*.	1 *m*.	*K* geschlossen. Stromeintritt bei *b*.	
		10″. 777.	Der Widerstand nimmt zu.
	3 *m*.	783.	
	5 *m*.	786.	

8 *h*. 9 *m*. 797.
13 *m*. 802,5.
17 *m*. 807,5. Bei Oeffnung von *K* auf 10″: spurweise Ablenkung, Strom von *a* nach *b* anzeigend.
22 *m*. 813.
26 *m*. 818,5.
31 *m*. 823,5. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *a*.
10″. 817,5. Der Widerstand nimmt ab.
32 *m*. 815,5. Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
34 *m*. und nimmt dann zu.
35 *m*. 816.
37 *m*. 818.
41 *m*. 822. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *b*.
10″. 821. Der Widerstand nimmt zu.
42 *m*. 823,5.
44 *m*. 827. *K* geöffnet. — Spurweise Ablenkung, Strom von *a* nach *b* anzeigend.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab=10^{mm}$; $am=10^{mm}$; $bo=4^{mm}$; $bw=30^{mm}$.

Versuch 145.

Die beiden Glasröhren sind mit 1%iger Kochsalzlösung gefüllt.
Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell.

10 *h*. 12 *m*. Zweiter Ischiadicus eines 9 *h*. 9 *m*. †† kleinen Frosches mit zwei mittleren Stellen aufgelegt.
20 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *b*.
15″. 718. Der Widerstand nimmt ab.
21 *m*. 716,5. Der Widerstand nimmt jetzt zu.
23 *m*. 718.
27 *m*. 723.
32 *m*. 727.
38 *m*. 729,5. Bei Oeffnung von *K* auf 10″: $\frac{1}{2}^{sc}$ Ablenkung, Strom von *a* nach *b* anzeigend.
45 *m*. 734,5.
59 *m*. 741. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *a*.
10″. 730. Der Widerstand nimmt ab.

11 *h.* 0 *m.* 727.
1 *m.* 725,5. Empfindlichkeit: auf 10^{mm} Verschiebung 2^{sc} Ablenkung.
3 *m.* 723.
6 *m.* 720.
10 *m.* 719,5.
15 *m.* 719. Jetzt nimmt der Widerstand zu.
20 *m.* 720. *K* geöffnet. — $\frac{1}{2}^{sc}$ Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 10^{mm}$; $am = 8^{mm}$; $bo = 4^{mm}$; $bw = 30^{mm}$.

Versuch 146.

Die beiden Glasröhren sind mit Brunnenwasser gefüllt.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell.

5 *h.* 12 *m.* Zweiter Ischiadicus eines 3 *h.* 54 *m.* †† kleinen Frosches mit zwei mittleren Stellen aufgelegt.
17 *m.* *K* geschlossen. Stromeintritt bei *a*.
10″. 959. Der Widerstand nimmt ab.
18 *m.* 956.
19 *m.* 954. Der Widerst. verändert sich jetzt nicht merklich bis
25 *m.* und nimmt dann zu.
34 *m.* 963. Bei Oeffnung von *K* auf 10″: spurweise Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend.
42 *m.* 980.
53 *m.* 990. Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *b*.
20″. 981. Der Widerstand verändert sich nicht merklich bis
6 *h.* 4 *m.* wo Wippe *B* umgelegt wird, so dass Stromeintritt wieder bei *a*.
20″. 985. Der Widerstand verändert sich nicht merklich bis
6 *m.* und nimmt dann zu.
9 *m.* 990.
11 *m.* 993. *K* geöffnet. Keine Ablenkung.
25 *m.* *K* geschlossen. Stromeintritt bei *a*.
10″. 1000. Der Widerstand nimmt ab.
27 *m.* 996. *K* geöffnet. Keine Ablenkung.

Der Ischiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 10^{mm}$; $am = 9^{mm}$; $bo = 5^{mm}$; $bw = 29^{mm}$.

§ 4. Der Nerv als Zu- und Ableiter des Stromes.

Wir lassen uns nicht darauf ein, statt des Thones andere poröse Körper, z. B. etwa Fliesspapier, mit verschiedenen Flüssigkeiten zu tränken und als Zu- und Ableiter des Stromes zu verwenden. Ebensowenig mögen wir ausgedehnte Versuchsreihen anstellen mit solchen feuchten porösen Körpern, welche ein für alle Male mit einer bestimmten Flüssigkeit erfüllt uns gegeben sind, wie es z. B. bei dem hartgesottenen Hühnereiweiss der Fall ist. Nur einen einzelnen ganz besonders interessanten feuchten porösen Körper wollen wir noch als Zu- und Ableiter des Stromes dienen lassen, den Nerven selber.

Die Versuchsanordnung Fig. 1. behalten wir bei, jedoch mit der S. 349. angeführten, die doppelte Unterbrechung des Nervenzweiges bei *Q* ermöglichenden Modification, welche auch in dem in Fig. 23 *A*. allein dargestellten Endstücke der Versuchsanordnung Fig 1. (von der Wippe *B* an bis zum Nerven *N*) nochmals sichtbar ist; die Thonspitzenkanten von z und z_1 formen wir sehr stumpf, und wir geben ihnen einen Abstand von 20—30^{mm}. Die weitere Einrichtung des Versuches veranschaulicht Fig. 23 *A*. In zwei mit concentrirter Glaubersalzlösung gefüllte kleine Gefässe G_1 und G_2, welche vor dem Nerven *N* und zwar etwas tiefer als dieser Aufstellung gefunden haben, sind die beiden Zuleitungsröhren mit Thonspitzen z_2 und z_3 versenkt, welche durch den Stromwender mit ausgenommenem Kreuze *C* mit der zweiten Kette oder Säule K_1 in Verbindung stehen. In die Glaubersalzlösung tauchen ausserdem die einen Enden der beiden in ganzer Länge präparirten Nerven N_1 und N_2, welche nach einem Verlaufe von 15—20^{mm} zwischen z und z_1 schräg über den Nerven *N* hinweg gehen zu einer hinter dem Nerven *N* und oberhalb desselben angebrachten Glasplatte *P*; auf die Glasplatte, welche an einem Stative vertical verschiebbar ist, sind in geringem Abstande neben einander zwei Korke aufgekittet, und auf diesen Korken sind die zweiten Enden der Nerven N_1 und N_2 mit Nadeln festgesteckt.

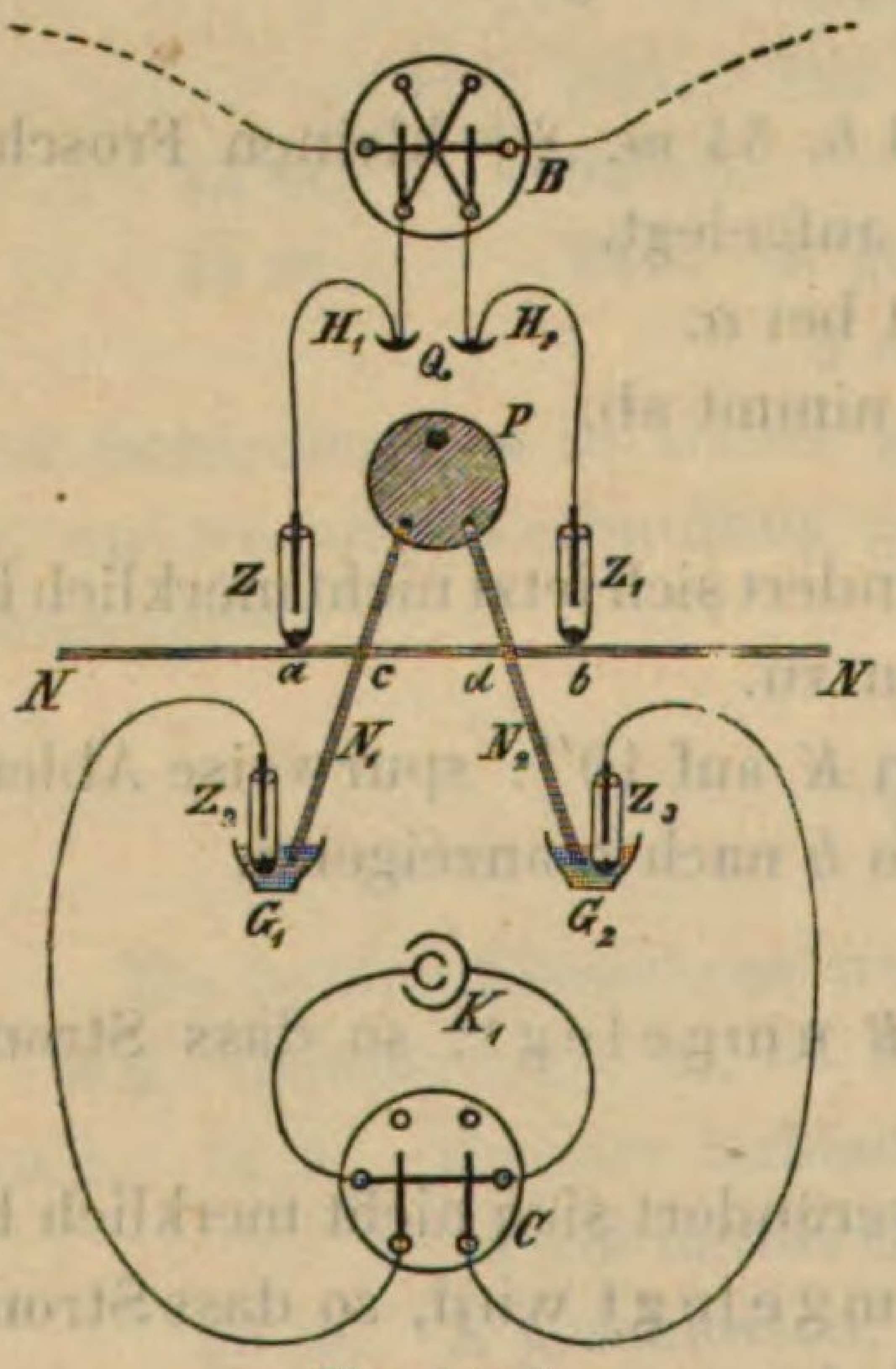


Fig. 23 *A*.

Wir verwenden für den Versuch drei Nerven von zwei gleich grossen und gleich munteren Thieren desselben Fanges, welche eben getödtet wor-

den sind, und lassen die beiden Nerven desselben Thieres bald N und N_1, bald N_1 und N_2, bald endlich N und N_2 abgeben. Die Glasplatte P ist bei dem Beginne des Versuches so hoch gestellt, dass N_1 und N_2 den Nerven N nicht berühren; die Wippe C liegt so, dass K_1 geöffnet ist. Mit Hülfe momentaner Schliessungen und rascher Verstellung des Schiebers S (vgl. o. S. 238.) bestimmen wir in Zwischenräumen von 5 resp. 10 Minuten den Widerstand der Strecke *ab* des Nerven N. Wenn der Widerstand von *ab* nur langsam und in vorauszusehender Weise regelmässig mit der Zeit sich verändert, lassen wir in der Zwischenzeit zweier Widerstandsbestimmungen von *ab* die Strecke *cd* des Nerven N vom Strome von K_1 durchflossen sein. Dazu senken wir unmittelbar nach der einen Widerstandsbestimmung die Glasplatte P langsam so weit, dass N_1 und N_2 in Berührung mit N kommen und *cd* zwischen sich fassen, stellen die Unterbrechung bei Q her und schliessen K_1; kurz vor der anderen Widerstandsbestimmung öffnen wir K_1, schieben die Glasplatte P vorsichtig in die Höhe, bis N_1 und N_2 die Berührung mit N aufgeben, und heben endlich die Unterbrechung bei Q wieder auf. Wir fahren darauf mit den Widerstandsbestimmungen, wie vorher, fort.

Aus der Abweichung des Widerstandes von *ab* unmittelbar nach der Durchströmung von *cd* lässt sich, wie man übersieht, die Widerstandsveränderung entnehmen, welche *cd* bei der Zu- und Ableitung durch den Nerven unter dem Einflusse des Stromes von K_1 erfahren hat und welche dann in der Rückbildung begriffen ist. Die innere Polarisation ist aus Gründen, welche später erhellen werden [s. Abschn. III. Kap. I. § 1 (1)], als Fehlerquelle hier nicht von Bedeutung: selbst wenn man bei recht empfindlicher Bussole den Widerstand von *ab* unmittelbar nach der Durchströmung von *cd* bei beiden Richtungen des Stromes von K bestimmt, weichen die beiden Schieberstellungen, welche man gewinnt, nur um einige Mm. von einander ab. Meist zeigt sich eine mehr oder weniger grosse, immerhin jedoch mässige Zunahme des Widerstandes von *ab* als Folge der Durchströmung von *cd*; sonst eine Abnahme des Widerstandes, die aber immer auffallend gering ist. Bei demselben Versuche ist die Zunahme des Widerstandes in Folge 10 Min. langer Durchströmung von *cd* grösser als in Folge 5 Min. langer Durchströmung; bei demselben Versuche kommt ferner öfters bei geringer und wiederum bei grosser Intensität des Stromes von K_1 eine Zunahme des Widerstandes zur Beobachtung, während bei mittlerer Intensität des Stromes von K_1 eine Abnahme des Widerstandes auftritt; bei demselben Versuche zeigt sich endlich in Folge 10 Min. langer Durchströmung von *cd* in der Regel eine Zunahme des Widerstandes, wenn in Folge 5 Min. langer Durchströmung eine Abnahme des Widerstandes sich ergeben hat. Aus diesen Erfahrungen haben wir zu schliessen, dass auch

dann, wenn der Nerv als Zu- und Ableiter des Stromes dient, der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke in Folge der Verarmung an Flüssigkeit zunimmt. Und die unter Umständen zu beobachtende Abnahme des Widerstandes ist, den Ermittelungen des § 1. des Kap. III. gemäss, einfach dadurch zu erklären, dass die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge der Erwärmung und in Folge der chemischen Veränderungen durch den Strom nicht immer übercompensirt ist durch die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Verarmung, sondern manchmal — bei mittlerer Stromintensität und geringer Stromdauer — nur verkleinert.

Genauere Untersuchungen anzustellen, dazu sind die Dinge hier nicht angethan. Trotz aller Sorgfalt misslingt es häufig, das Senken und Heben der Glasplatte *P* so zu vollführen, dass die Auflagerung des Nerven auf z und z_1, wie es unbedingt erforderlich ist, nicht verändert wird; und die Zahl der gelungenen Versuche bleibt darum immer eine verhältnissmässig kleine. Ausserdem sind die für den Versuch günstigen Bedingungen nur unvollkommen zu erfüllen. Es müsste einmal die Strecke *ab* immer recht kurz und zweitens die Strecke *cd* fast gleich gross der Strecke *ab* sein: aber das Erstere lassen die räumlichen Verhältnisse unserer Versuchsanordnung nicht zu, und das Letztere müssen wir vermeiden, um uns vor der Verschiebung des Nerven *N* auf z und z_1 möglichst zu sichern. Mit neuen mechanischen Hülfsmitteln würde allerdings hier weiter zu kommen sein; indessen haben wir keinen Grund, solche in Anwendung zu bringen, da, was wir erlangt haben, für unsere Zwecke genügt.

Zum Ueberflusse sichern wir unseren Gewinn noch durch ein zweites Verfahren. Die neue Einrichtung des Versuches zeigt Fig. 23 *B.*, in welcher Alles der Fig. 23 *A.* entsprechend gehalten ist. An Stelle der fortgefallenen Glasplatte *P* ist die (selbstverständlich wohl gereinigte und getrocknete) Glasplatte Π zwischen den Thonspitzen von z und z_1 angebracht, und auf Π sind die Nerven und Nervenstücke zweier oder mehrerer gleich grosser und gleich munterer Frösche desselben Fanges, welche eben getödtet worden sind, auf eine der beiden aus Fig. 23 *B.* und Fig. 23 *C.* ersichtlichen Weisen angeordnet. Der Abstand zweier Kreuzungspunkte der Nerven ist immer nur gering, im Mittel etwa 6^{mm} gross genommen; noch kleiner ist der Abstand zwischen der der Thonspitze aufgelagerten Nervenstelle und dem benachbarten Kreuzungspunkte[1]; der Abstand aber

1) Indem so nur das Stromaustrittsende (für den Strom von K_1) des Nerven N_2 in den Kreis von *K* aufgenommen wurde, war verhütet, dass — in Folge der Abnahme der Stromdichte in der der Thonspitze z_1 aufgelagerten Nervenstelle — hinter dieser in der Richtung nach dem benachbarten Kreuzungspunkte der Nerven hin durch den Strom von K_1 eine Verarmung von N_2 sich ausbildete (vgl. Kap. VI. § 3.), welche eine Täuschung hätte veranlassen können.

zwischen der der Thonspitze aufgelagerten Nervenstelle und dem Niveau der Glaubersalzlösung beträgt 15—20mm. Hinsichts der Widerstandsbestimmungen und der zeitweiligen Schliessung von K_1 ist die Versuchsweise dieselbe wie bei dem ersten Verfahren.

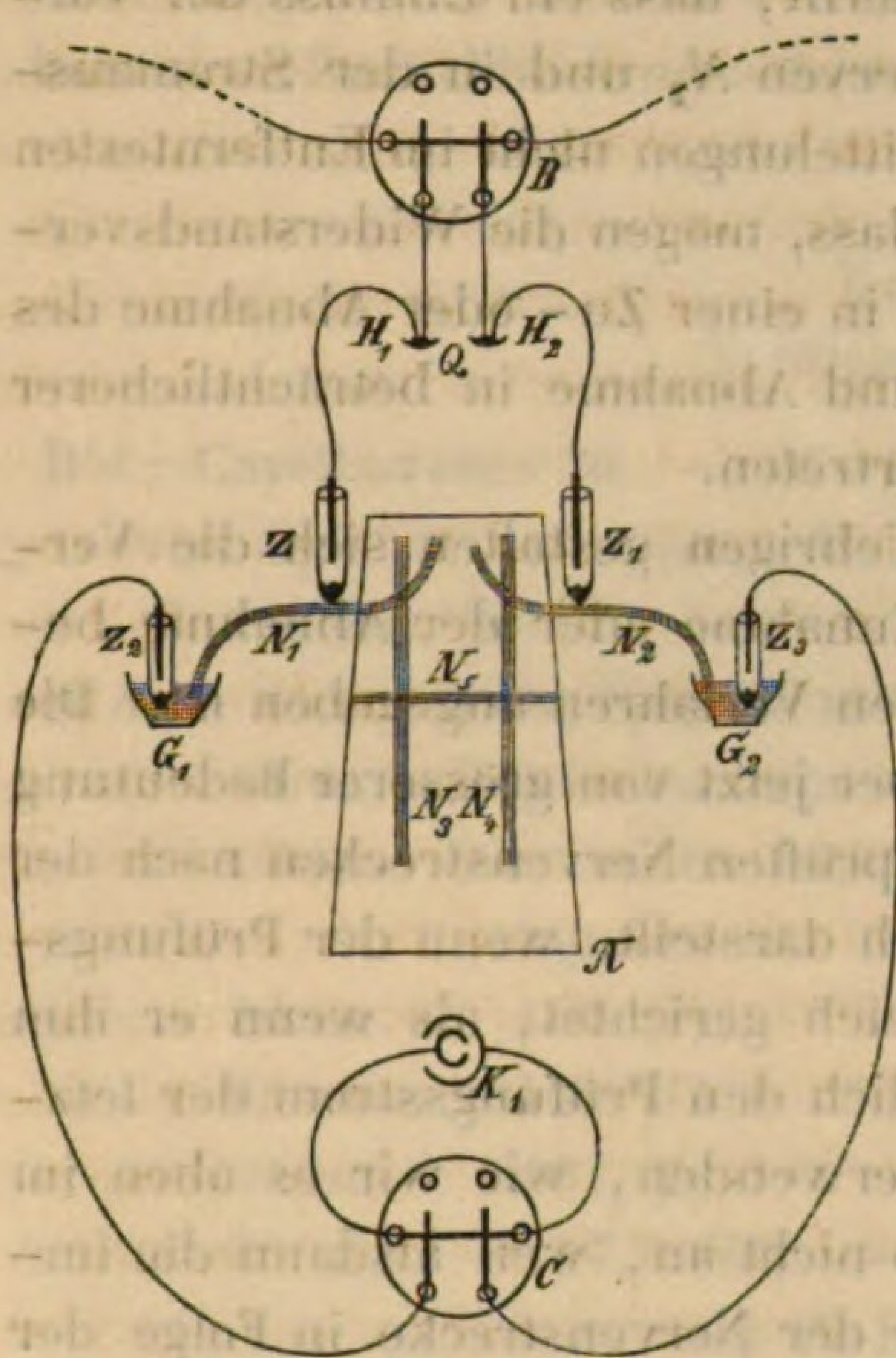


Fig. 23 *B*.

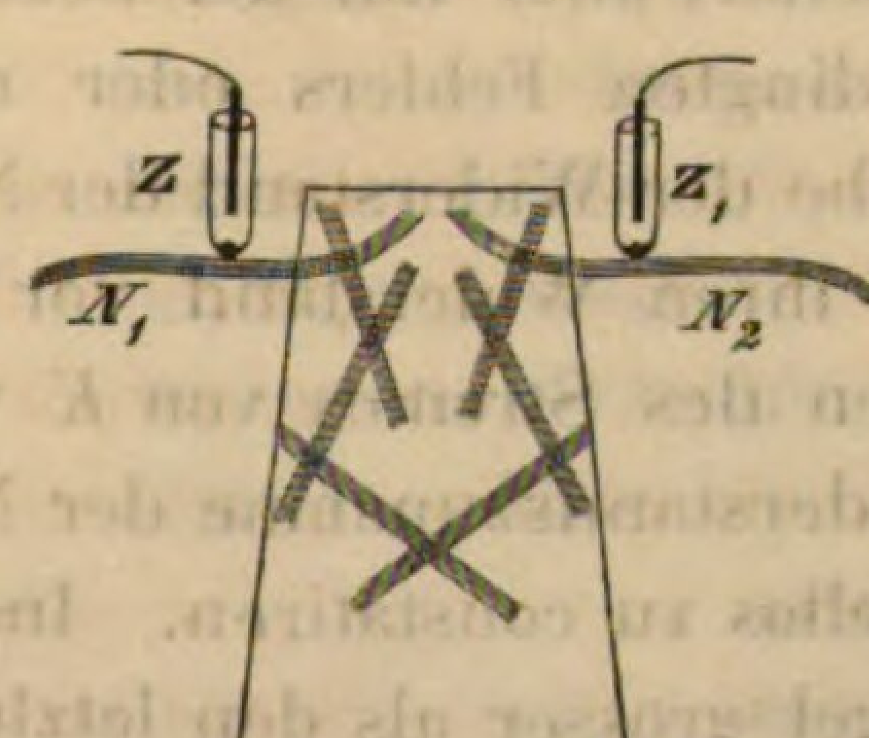


Fig. 23 *C*.

Die Wahl einer freien Flüssigkeit als Zu- und Ableiter des Stromes zu den Nerven N_1 und N_2 bei unseren beiden Verfahren hatte darin ihren Grund, dass es darauf ankam, die Stromintensität im Kreise von K_1 während der Dauer der Schliessung von K_1 keine Abnahme erfahren zu lassen, und dass dies bei der Zuleitung des Stromes von K_1 durch eine Thonspitze nur unbequemer und beschränkter zu erreichen gewesen wäre. Unter den verschiedenen zulässigen Flüssigkeiten (s. o. S. 385.) ist aber der Glaubersalzlösung vor der Salmiaklösung und der Kalihydratlösung der Vorzug gegeben worden, weil sie weniger rasch als die letzteren Flüssigkeiten im Nerven vordringt. Uebrigens ist nicht versäumt worden, durch einige besondere Versuche mit 1%iger Kochsalzlösung und mit Brunnenwasser statt der Glaubersalzlösung sich dessen zu vergewissern, was sich eigentlich schon von selbst verstand, dass durch diese Variation der Flüssigkeit in den Gefässen G_1 und G_2 die Ergebnisse der Versuche keine wesentliche Veränderung erfahren.

Bei dem neuen Verfahren ermitteln wir nun die Widerstandsveränderungen, welche bei der Zu- und Ableitung durch den Nerven unter dem Einflusse des Stromes von K_1 erfolgen, nicht an einer einzelnen Nervenstrecke, wie bei dem ersten Verfahren, sondern an mehreren Nervenstrecken zugleich: es sind, um uns an den Fall Fig. 23 *B*. zu halten, vier Stellen der Nerven N_4, N_5, N_3 und N_1, an welchen der Strom vom Nerven her eintritt, und vier Stellen der Nerven N_2, N_4, N_5 und N_3, an welchen der Strom in den Nerven austritt. Die Stromaustrittsgegend des Nerven N_2

und die Stromeintrittsgegend des Nerven N_1 mit den den Zuleitungsröhren aufgelagerten Nervenstellen sind dabei von der Stromein- resp. Stromaustrittsgegend derselben Nerven so weit entfernt, dass ein Einfluss der Vorgänge in der Stromeintrittsgegend des Nerven N_2 und in der Stromaustrittsgegend des Nerven N_1 auf unsere Ermittelungen nicht im Entferntesten zu befürchten ist. Jetzt ist zu erwarten, dass, mögen die Widerstandsveränderungen, um welche es sich handelt, in einer Zu- oder Abnahme des Widerstandes bestehen, diese Zunahme und Abnahme in beträchtlicherer Grösse als bei dem ersten Verfahren hervortreten.

Dies ist in der That der Fall. Im Uebrigen gestalten sich die Versuchsergebnisse, was das Auftreten der Zunahme oder der Abnahme betrifft, wieder ganz so, wie es bei dem ersten Verfahren angegeben ist. Die Fehlerquelle der inneren Polarisation ist aber jetzt von grösserer Bedeutung als früher, so dass der Widerstand der geprüften Nervenstrecken nach der Oeffnung von K_1 oft wesentlich grösser sich darstellt, wenn der Prüfungsstrom dem Strome von K_1 im Nerven gleich gerichtet, als wenn er ihm entgegengesetzt gerichtet ist. Ausschliesslich den Prüfungsstrom der letzteren Richtung für die Untersuchung zu verwenden, wie wir es oben im Kap. IV. gethan haben, geht hier deshalb nicht an, weil alsdann die immerhin nur mässige Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Durchströmung von der scheinbaren Widerstandsabnahme durch die Polarisation zu oft verdeckt bleiben würde. Es bedarf aber nur der Bestimmung des durch die innere Polarisation bedingten Fehlers oder noch einfacher des Vergleiches der Grössen, um welche der Widerstand der Nervenstrecken nach der Oeffnung von K_1 gegen ihren Widerstand vor der Schliessung von K_1 bei den beiden Richtungen des Stromes von K verändert sich darstellt, um die sehr häufige Widerstandszunahme der Nervenstrecken in Folge der Durchströmung zweifellos zu constatiren. Indem man dabei den ersteren Widerstand in der Regel grösser als den letzteren oder mindestens ihm gleich findet, muss der Widerstand der Nervenstrecken in Folge der Verarmung gewachsen sein, da er schon in Folge der Erwärmung allein kleiner und oft viel kleiner hätte sein müssen.

Bei der weiteren Verfolgung des Widerstandes nach der Oeffnung von K_1 sieht man ihn bei beiden Verfahren bis zu etwa dem Werthe, welcher ihm vor der Schliessung von K_1 zukam, oder einem noch etwas grösseren Werthe rasch anwachsen, wenn er während der Schliessung von K_1 kleiner geworden war; dagegen weniger oder gar nicht abnehmen, manchmal sogar nach einer ganz kurzen Abnahme wieder zunehmen und stets auf einem grösseren Werthe, als er vor der Schliessung von K_1 besass, zunächst verharren, wenn er während der Schliessung von K_1 zugenommen hatte. Diese Erfahrungen sind im Einklange mit dem, was wir anderweitig

längst ermittelt haben, dass nach der Durchströmung die Erwärmung der Nervenstrecke durch den Strom eine vollkommene, ihre chemischen Veränderungen aber und ihre Verarmung durch den Strom nur eine unvollkommene Zurückbildung erfahren.

Versuch 147.
(Versuchsanordnung Fig. 23 *A*.)

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 4 Grove's. — Der Strom von K_1 tritt bei *c* ein; die Eintrittsstelle des Stromes von K_1 ist bei (*I*): *b*, bei (*II*): *a*.

10 *h*. 0 *m*. Zwei Frösche mittlerer Grösse ††.
4 *m*. Der Ischiadicus des ersten Frosches als *N* aufgelegt.
12 *m*. Die beiden Ischiadici des zweiten Frosches als N_1 und N_2 eingebracht.
20 *m*. 496 (*I*).
25 *m*. 497 (*II*).
30 *m*. 497 (*I*).
35 *m*. 497,5 (*II*). — Sofort *P* gesenkt, bis N_1 und N_2 den Nerven *N* berühren; *cd* ist 7—8^{mm} lang. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen.
39½ *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *P* gehoben.
40 *m*. 510 (*I*). 512 (*II*).
45 *m*. 514 (*I*).
50 *m*. 514 (*II*).
55 *m*. 521 (*I*). Sofort *P* gesenkt, bis N_1 und N_2 den Nerven *N* berühren; *cd* ist c. 15^{mm} lang. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen.
11 *h*. 0 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. *P* gehoben. Unmittelbar danach 587 (*I*). 596 (*II*).
5 *m*. 600 (*I*).
10 *m*. 600 (*II*).
15 *m*. 605 (*I*).

Die Ischiadici sind in ihrer ganzen Länge erhalten gewesen. — Der Ischiadicus *N* war in unversehrter Verbindung mit dem Muskel; $ab = 30^{mm}$; $am = 3^{mm}$; $ao = 26^{mm}$; $bw = 26^{mm}$; die Thonspitzenkanten für *a* und *b* waren c. 5^{mm} breit. Nach der Beendigung des Versuches ist der Nerv *N* nur noch nahe dem Muskel mechanisch gut erregbar.

Versuch 148.

(Versuchsanordnung Fig. 23 *B.*; Anordnung der Nerven gemäss Fig. 23 *C.*)

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 1—4 Grove's. — Der Strom von K_1 tritt bei G_1 ein; die Eintrittsstelle des Stromes von *K* ist bei (*I*) : z_1, bei (*II*) : *z*.

11 *h*. 5 *m*. Drei Frösche mittlerer Grösse ††.
17 *m*. Die Nerven aufgelegt.
20 *m*. 686 (*I*, *II*).
25 *m*. 685 (*I*, *II*).
30 *m*. 686 (*I*, *II*).
35 *m*. 687 (*I*, *II*).
40 *m*. 687 (*I*, *II*). Sofort Unterbrechung bei *Q* hergestellt und K_1 geschlossen. K_1 = 1 Grove.
45 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. Sofort 682 (*I*). 685 (*II*). — (c. $^1/_4{}^{sc}$ Polarisations-Ablenk. von K_1.)
55 *m*. 682 (*I*). 687 (*II*). — (Pol.-Abl. ebenso.)
12 *h*. 5 *m*. 685 (*I*). 689 (*II*). — (Pol.-Abl. ebenso.)
15 *m*. 687 (*I*, *II*). (Spurweise Pol.-Abl.)
Sofort Unterbrechung bei *Q* hergestellt und K_1 geschlossen. K_1 = 1 Grove.
25 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. Sofort 678 (*I*). 705 (*II*). — (c. 1^{sc} Pol.-Abl. von K_1.)
35 *m*. 687 (*I*). 703 (*II*). — (c. $^2/_3{}^{sc}$ Pol.-Abl.)
45 *m*. 692 (*I*). 707 (*II*). — (c. $^2/_3{}^{sc}$ Pol.-Abl.)
55 *m*. 693 (*I*). 708 (*II*). — (c. $^2/_3{}^{sc}$ Pol.-Abl.)
Sofort Unterbrechung bei *K* hergestellt und K_1 geschlossen. K_1 = 4 Grove's.
1 *h*. 5 *m*. K_1 geöffnet. Unterbrechung bei *Q* aufgehoben. Sofort 668 (*I*). 753 (*II*). — (c. 4^{sc} Pol.-Abl. von K_1.)
15 *m*. 671 (*I*). 738 (*II*). — (c. 2^{sc} Pol.-Abl.)
25 *m*. 690 (*I*). 737 (*II*). — (c. $1\,^2/_3{}^{sc}$ Pol.-Abl.)
35 *m*. 700 (*I*). 742 (*II*). — (c. $1\,^1/_2{}^{sc}$ Pol.-Abl.)
45 *m*. 708 (*I*). 747 (*II*). — (c. $1\,^1/_2{}^{sc}$ Pol.-Abl.)
2 *h*. 15 *m*. 719 (*I*). 757 (*II*). — (c. $1\,^1/_2{}^{sc}$ Pol.-Abl.)

Empfindlichkeit: auf 20^{mm} Verschiebung von *S* 2^{sc} Ablenkung. Die Nervenstücke auf *II* waren c. 6^{mm} lang; die Thonspitzenkanten von *z* und z_1 waren c. 4^{mm} breit; ihr Abstand vom benachbarten Kreuzungspunkte der Nerven betrug c. 3^{mm}, ihr Abstand vom Niveau der Glaubersalzlösung betrug c. 20^{mm}. — Die Reihenfolge der Prüfungen (*I*) und (*II*) wechselte bei den Bestimmungen.

§ 5. Metalle als Zu- und Ableiter des Stromes.

Endlich sollen noch Metalle Zu- und Ableiter des Stromes sein.

Hierhergehörige Untersuchungen sind schon von *E. du Bois-Reymond* angestellt. Seine Angaben sind zu seinen Erfahrungen am hartgesottenen Hühnereiweiss in Beziehung gebracht. Setzte *du Bois-Reymond* einen Eiweisscylinder zwischen Platinelektroden dem Strome einer fünf- bis zwanziggliederigen Grove'schen Säule aus, so sank die Stromstärke rasch auf einen kleinen Bruchtheil ihrer Grösse. Wurde die Stromrichtung umgekehrt, so ging, wenn Platinbleche den Grundflächen des Eiweisscylinders anlagen, der Strom zuerst in einem Sprunge und dann ganz langsam in die Höhe, verweilte aber nur einen Augenblick auf der Höhe und sank dann wieder; war das Eiweiss zwischen Platindrähten durchströmt, so wurde das langsame Wachsen nach dem Umlegen vermisst. Derselbe Vorgang wiederholte sich bei jeder folgenden Aenderung der Stromrichtung. Die Schwächung des Stromes war dabei zu gross und der positive Ausschlag bei der Umkehrung der Stromrichtung zu klein, als dass die Schwächung allein der Polarisation sich hätte zuschreiben lassen; auch zeigte sich, dass es hier um äusseren secundären Widerstand und nicht um Polarisation sich handelte, dadurch, dass dem Abschneiden des Eintrittsendes oder dem Herausziehen und neuen Einstechen der Anode eine ungleich grössere Hebung des Stromes folgte, als wenn das Gleiche mit dem Austrittsende resp. der Kathode vorgenommen wurde[1]. »Mit Zinkelektroden folgt auf das Umlegen der Wippe, nachdem der Strom bis auf einen kleinen Bruchtheil geschwunden ist, keine Hebung der Stromstärke, sondern räthselhafterweise erneutes Sinken. Bei abermaligem Umlegen der Wippe (zur ursprünglichen Richtung) geht der Strom plötzlich in die Höhe bis etwa zu seiner anfänglichen Stärke, sinkt aber bald wieder eben so tief wie das erstemal. Ein drittes Umlegen hat wieder erneutes Sinken, ein viertes rasches Emporsteigen zur anfänglichen Höhe zur Folge, und so fort mit jedem ungeraden und jedem geraden Umlegen. Verquicktes Zink verhielt sich wie unverquicktes, Kupfer anfangs wie Zink, später mehr wie Platin«[2]. »Die Wiederholung dieser Versuche,« sagt *du Bois-Reymond* weiter, »mit Nerven. . ., die ich auf Korkstegen mittels Insectennadeln über verschiedene Elektrodenpaare, von Platin, Kupfer, Zink, verquicktem Zink, ausspannte, ergab unmittelbar, dass an Beständigkeit des Stromes unter diesen Umständen nicht zu denken sei, und zwar nicht, wie man bisher glaubte,

1) *E. du Bois-Reymond*, Ueber den secundären Widerstand u. s. w. A. a. O. S. 880—1*. [Ueber ältere Erfahrungen *du Bois'* s. o. S. 325. und u. Abschn. III. Kap. I. § 1 (2)].

2) *Ebenda*, S. 882*.

wegen der Ungleichartigkeiten oder der Polarisation, die man leicht gegen die elektromotorische Kraft der Säule verschwinden machen kann, sondern wegen des secundären Widerstandes. Bei den positiveren Metallen stellen sich überdies leicht Unregelmässigkeiten gleich den oben beschriebenen ein«[1].

Nach dieser Anführung der Erfahrungen *du Bois-Reymond's* gehen wir unseren eigenen Weg, und wir dürfen es dem Leser überlassen, die theilweise Bestätigung und die Erweiterung der *du Bois*'schen Erfahrungen aus der Folge selbst zu entnehmen.

Die beträchtliche Grösse der Polarisation der dem negativen Ende der Spannungsreihe nahen Metalle und die sehr rasche Abnahme dieser Polarisation nach der Oeffnung des primären Kreises, welche die Bestimmung des durch die Polarisation bedingten Fehlers illusorisch machen würde, lassen uns von vornherein davon abstehen, den Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke hier mit Hülfe der Versuchsanordnung Fig. 1. nachzugehen. Wir ermitteln vielmehr die Widerstandsveränderungen durch die Verfolgung der Stromintensität im Kreise des Nerven mit Hülfe der Versuchsanordnung Fig. 11., nachdem wir den Neusilberrheochord *R* ausgeschaltet und eine 4—10gliederige *Grove*'sche Säule als *K* aufgenommen haben, so dass die Polarisation der Elektroden gegen die elektromotorische Kraft der Säule ganz oder wenigstens zu einem grossen Theile verschwindet. Die Elektrodenpaare, welche wir an Stelle der beiden Zuleitungsröhren mit Thonspitzen z und z_1 der Fig 11. verwenden, sind Drähte oder Bleche von Platin, Silber, Kupfer, Eisen, Zink und verquicktem Zink, und wir lagern ihnen den Nerven immer mit mittleren Stellen seines Verlaufes auf.

Innerhalb der ersten halben Minute nach der Schliessung der Kette kommt öfters eine rasche Zunahme der Stromintensität zur Beobachtung, dann aber nimmt die Stromintensität ausnahmslos rasch ab. Ob die negative Elektrode ein Draht oder ein Blech ist, setzt für die Abnahme der Stromintensität keinen merklichen Unterschied. Dagegen erfolgt diese Abnahme sehr rasch, wenn ein dünner Draht, und auffallend langsamer, wenn ein Blech als positive Elektrode dient; hier kann im ersteren Falle nach einer 10 Minuten langen Durchströmung die Stromintensität nur noch $^1/_{20}$ ihrer anfänglichen Grösse besitzen. Wird darauf die Stromrichtung umgekehrt, so nimmt die Stromintensität ausnahmslos eine erste kurze Zeit hindurch sehr rasch zu, erreicht ein Maximum und nimmt dann wieder rasch ab. Die Dauer und die Grösse der anfänglichen Zunahme sind dabei be-

1) *E. du Bois-Reymond*, Ueber den secundären Widerstand u. s. w. A. a. O. S. 901—2*.

trächtlicher, und die nachfolgende Abnahme der Stromintensität erfolgt weniger rasch, wenn die ursprünglich negative Elektrode von einem Bleche, als wenn sie von einem Drahte gebildet ist; im Falle eines dünnen Drahtes fällt das Maximum der Stromintensität oft in die Zeit, während welcher der Bussolenspiegel nach dem Umlegen der Wippe noch schwingt. Bei nochmaliger und bei weiter wiederholter Umkehrung der Stromrichtung wiederholen sich immer dieselben Vorgänge.

Die Wahrnehmungen stimmen also hier sämmtlich überein mit den früheren, als der mit 1%iger Kochsalzlösung getränkte Thon den Strom zu- und ableitete und der die Nervenstrecke durchsetzende Strom von grosser Intensität war [vgl. o. Kap. II. § 1 (2) u. 4.; Kap. III. § 1 (2) u. 3.]; wenn Abweichungen existiren, so sind es sicherlich nicht gröbere und nur quantitative, welche ohne eingehendere Untersuchung unserer Kenntniss sich entziehen. Alle Schlüsse, welche wir aus den betreffenden früheren Wahrnehmungen gezogen haben, sind daher auch gültig, wenn Metalle Zu- und Ableiter des Stromes sind. Auch dann verarmt die intrapolare Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes stellenweise an Flüssigkeit; auch dann werden nach der Umkehrung der Stromrichtung die vorher verarmten Stellen an Flüssigkeit wieder reicher, und neue Stellen verarmen; auch dann nimmt die Grösse der Verarmung ab mit dem Wachsen der Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der positiven Elektrode[1].

Aber nicht blos bei so grossen Stromintensitäten wie bisher, sondern auch bei geringeren Stromintensitäten lässt die Verarmung der intrapolaren Nervenstrecke im Falle metallischer Elektroden unter Ausschluss der Polarisation der Elektroden sich nachweisen mit Hülfe einer uns schon geläufigen Methode. Es bedarf nur einer solchen Modification der Versuchsanordnung Fig. 23*A*., wie sie die neue Art der Zu- und Ableitung des Stromes gebietet. Das Stativ mit der Glasplatte *P* bringen wir jetzt vor dem Nerven an und stecken durch die der Glasplatte aufgekitteten Korke die beiden Elektroden, Drähte oder Bleche, hindurch; die Zuleitungsröhren z_2 und z_3, die Gefässe G_1 und G_2, endlich die beiden Nerven N_1 und N_2 fallen fort, und wir verbinden unmittelbar mit den Elektroden durch Schraubenklemmen die von der Wippe *C* kommenden Drähte; die Glasplatte *P* ist für

1) Darauf ist, beiläufig bemerkt, der Erfolg zurückzuführen desjenigen Versuches, welchen *Matteucci* im »Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux. Paris 1844.« p. 49—51.* beschreibt, wie aus *Matteucci's* Angaben zweifellos hervorgeht. (S. den Versuch auch in *E. du Bois-Reymond's* Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 245. Anm. 2.* — Vgl. noch *E. du Bois-Reymond*, ebenda, S. 378*. — S. oben S. 325.) Die Abnahme des Unterschiedes, welchen die Stromintensität bei den beiden Stromrichtungen darbot, nach dem Tode des Thieres erklärt sich durch die häufige Wiederholung des Versuches, indem der specifische Widerstand der Nervenflüssigkeit in Folge der Elektrolyse abnahm und die bleibende d. h. die nicht sich zurückbildende Verarmung wuchs.

gewöhnlich tiefer als der Nerv *N* festgestellt und wird, wenn die Elektroden den Nerven berühren sollen, gehoben. Die Versuchsweise ist wiederum die, dass wir mit Hülfe momentaner Schliessungen und rascher Verstellung des Schiebers *S* in regelmässigen Zwischenräumen den Widerstand der Strecke *ab* des Nerven *N* bestimmen und in der Zwischenzeit zweier Widerstandsbestimmungen die Strecke *cd* desselben Nerven vom Strome von K_1 durchflossen sein lassen (s. o. S. 391.). Die Zwischenzeiten zweier Widerstandsbestimmungen lassen wir bei diesen Versuchen 1—10 Minuten betragen.

Regelmässig zeigt sich eine Zunahme des Widerstandes von *ab* als Folge der Durchströmung von *cd*; und zwar ist die Zunahme desto grösser, je länger *cd* durchströmt und je grösser die Intensität des Stromes war. Nur bei den negativeren Metallen und geringer Intensität des *cd* durchsetzenden Stromes (K_1 etwa = 1 Daniell) ist die Zunahme von *ab* in Folge der 1 Minute andauernden Durchströmung von *cd* grösser als in Folge längerer Durchströmung und wird nach 3—5 Minuten langer Durchströmung meist ganz vermisst. Doch ist diese Abweichung als eine scheinbare leicht darzuthun. Denn, wie sich vorhersagen liess und mittelst der Aufnahme einer Bussolenrolle durch eine geeignete Schaltung in den Kreis von K_1 auch zu beobachten ist, nimmt in eben diesen Ausnahmefällen die Intensität des Stromes von K_1 in Folge der Polarisation der Elektroden sehr rasch nach der Schliessung des Kreises auf Null oder wenigstens fast auf Null ab; und es müssen daher die in der ersten Zeit der Schliessung durch den Strom herbeigeführten Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke *cd* während der weiteren Schliessungsdauer, wie wenn der Kreis geöffnet worden wäre, sich zurückbilden. Von den Ausnahmefällen abgesehen, nimmt dann der Widerstand von *ab* in der nächsten Zeit nach der Durchströmung von *cd* immer wieder ab, doch nie bis zu dem Werthe, welcher ihm vor der Schliessung von K_1 zukam; und zwar bleibt er von dem letzteren Werthe um so weiter entfernt, je mehr er in Folge der Durchströmung von *cd* gewachsen war.

Die innere Polarisation ist hier als Fehlerquelle von noch geringerer Bedeutung als bei den ähnlichen Versuchen des § 4., weil die Strecke *ab* im Allgemeinen kürzer genommen werden kann. Auch ist es hier begreiflich leichter, den Nerven, ohne ihn in seiner Lagerung auf z und z_1 zu stören, in und ausser Berührung mit den Elektroden zu bringen: wodurch die Zahl der gelungenen Versuche eine viel grössere wird. Ja, indem es sogar möglich ist, die Elektroden wiederholt denselben oder wenigstens nahezu denselben Stellen des Nerven anzulegen, lassen sich noch verwickeltere Versuche anstellen. Lässt man nämlich, wenn nach ein- oder mehrmaliger Durchströmung von *cd* in einer bestimmten Richtung der

Widerstand von *cd* nicht mehr in der Abnahme begriffen und beträchtlich gewachsen ist, nachdem man *P* von Neuem gehoben und die Elektroden mit denselben Stellen des Nerven wie früher in Berührung gebracht hat, den Strom von K_1 nunmehr in umgekehrter Richtung *cd* durchfliessen, so ergiebt sich als Folge dieser Durchströmung von *cd* eine Abnahme des Widerstandes von *ab*. Und in der Regel nur dies eine Mal tritt die Abnahme auf: als Folge weiterer Durchströmungen von *cd* in der neuen Richtung kommt wiederum eine Zunahme des Widerstandes von *ab* zur Beobachtung.

Die Ergebnisse der Widerstandsuntersuchungen finden auch in den Gestaltsveränderungen des durchströmten Nerven ihre Bestätigung. Diese stellen bei Blechen und dickeren Drähten kaum anders sich dar, als wir sie bei den mit 1 %iger Kochsalzlösung getränkten Thonspitzen kennen gelernt haben; höchstens dass unter sonst gleichen Umständen die Verengung sowohl wie die Anschwellung des Nerven jetzt beträchtlicher ist. Die Verengung ist von der positiven Elektrode aus nach innen weniger weit ausgedehnt als nach aussen, und die ganze verengte Strecke ist steif[1]; die Anschwellung ist von der negativen Elektrode aus nach innen weiter ausgedehnt als nach aussen, und das am meisten angeschwollene Stück des Nerven ist gallertartig durchsichtig. Bei ganz dünnen Drähten (von $0{,}3^{mm}$ Durchmesser) und mittelstarken Strömen lassen sich die Ausbildung und die Zurückbildung der Gestaltsveränderungen sehr schön verfolgen. Schon 1—2 Minuten nach der Schliessung der Kette fällt ein wenig (c. 1^{mm}) nach innen von der positiven Elektrode eine Einschnürung auf, und diese wächst mit der Stromdauer an Grösse wie an Ausdehnung in der Länge des Nerven nach beiden Seiten hin, doch so, dass sie nach innen steiler abnimmt als nach aussen. Nach einer längeren Durchströmung hat die am ehesten eingeschnürte Stelle ganz das Aussehen, als ob dort eine Ligatur angelegt gewesen und der Faden wieder entfernt wäre. Wird darauf die Stromrichtung umgekehrt, so bilden sich die Veränderungen wieder zurück, doch immer nur unvollkommen; nach wiederholtem Wechsel der Stromrichtung bilden sie von Neuem rasch sich aus. Bei dicken Nerven findet man ausser der vorbetrachteten Einschnürung noch eine zweite und viel geringere Verengung des Nerven gerade da, wo der Nerv der positiven Elektrode aufgelegen hat; zwischen beiden Verengungen erscheint dann der Nerv in schräger Richtung angeschwollen. Ein wenig (c. 1^{mm}) nach innen von der negativen Elektrode tritt sehr bald nach der Schliessung der Kette eine Anschwellung auf, die wie die Einschnürung wächst, nur dass sie nach aussen rascher abnimmt als nach innen; die am meisten angeschwollene

1) Beiläufig sei hier bemerkt, dass bei Eisendrähten wiederholt eine in der Mitte grüne, am Rande gelbe Färbung der verengten Strecke beobachtet worden ist.

Stelle nimmt ein gallertartiges Ansehen an. Nach der Umkehrung der Stromrichtung wird die Anschwellung rasch kleiner, und eine Verengung nimmt dann ihre Stelle ein.

Somit wären wir am Ende, wenn nicht noch die Unregelmässigkeiten, welche *du Bois-Reymond* bei den positiveren Metallen gefunden hat, unsere Aufmerksamkeit beanspruchten. Bei unseren Untersuchungen hat sich nicht der geringste Unterschied in den Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke gezeigt, ob Zink, ob Platin, ob ein anderes Metall die Elektroden abgab; und bei der Ausdehnung unserer Untersuchungen dürfen wir darum sagen, dass jene Unregelmässigkeiten mit den Widerstandsveränderungen sicherlich gar Nichts können zu schaffen haben. Trotzdem müssen wir, jeder Einrede zu begegnen, noch dem Wesen der Unregelmässigkeiten auf den Grund zu kommen suchen.

Da wir weder bei schwachen noch bei starken Strömen unter Ausschluss der Polarisation und ebensowenig bei starken Strömen ohne Ausschluss der Polarisation den Unregelmässigkeiten bisher begegnet sind, bleibt uns nur übrig, bei schwachen Strömen ohne Ausschluss der Polarisation auf sie zu fahnden. Und wir ziehen dazu, um zugleich bequem die Polarisation beobachten zu können, unsere Versuchsanordnung Fig. 1. in Anwendung, in welche wir statt z und z_1 ein Paar Drähte oder Bleche von den oben S. 398. genannten Metallen und als K 1—4 Daniell's aufnehmen.

Wirklich bleiben jetzt die Unregelmässigkeiten nicht aus. Sofort nach der Schliessung der Kette zeigt sich der Widerstand der Nervenstrecke immer auffällig grösser, als wenn mit 1 %iger Kochsalzlösung getränkte Thonspitzen von gleicher Berührungsfläche den Strom zu- und ableiteten; und zwar bei Drähten noch mehr als bei Blechen und bei Eisen, Kupfer, Silber und Platin in dieser Reihenfolge zunehmend viel mehr als bei Zink, unverquicktem wie verquicktem. Bei Platin-Drähten befinden wir uns mit unserem Schieber S sofort am Ende der Rheostatentheilung, und es tritt keine Veränderung weiter ein; bei Silber- und Kupfer-Drähten nimmt der Widerstand zuerst eine Weile ab und dann zu, bei Platin- und Kupfer-Blechen nimmt der Widerstand von vornherein dauernd zu, und wir nähern uns überall gleichfalls dem Ende der Rheostatentheilung. Bei Eisen-Elektroden nimmt nach einer kurzen Zunahme und bei Zink-Elektroden nach einer etwas längeren Zunahme der Widerstand dauernd ab; bei den letzteren Elektroden ist die Abnahme öfters ein- oder mehrmals von einer geringen Zunahme unterbrochen. Wird nach einer längeren Durchströmung die Stromrichtung umgekehrt, so ist der Widerstand bei Platin-, Silber- und Kupfer-Elektroden sofort sehr verringert und nimmt, nachdem er höchstens bei Blechen noch ganz kurze Zeit abgenommen hat, wie früher zu; bei Eisen- und Zink-Elektroden hingegen ist der Widerstand sofort

vergrössert, manchmal nur sehr wenig, manchmal sehr beträchtlich, und er nimmt entweder zunächst zu, um später wieder ab- und darauf wieder zuzunehmen, oder er nimmt zunächst ab und nach einiger Zeit wieder zu. Hat die Durchströmung in der neuen Richtung etwa ebenso lange wie in der ursprünglichen Richtung angedauert und wird dann zu der letzteren Richtung zurückgekehrt, so ist bei Platin-, Silber- und Kupfer-Elektroden Alles wie bei der ersten Umkehrung der Stromrichtung; bei Eisen- und Zink-Elektroden aber ist der Widerstand jetzt sofort sehr verringert und erfährt eine nur hin und wieder durch eine Abnahme unterbrochene Zunahme. Nach der dritten Umkehrung der Stromrichtung ist Alles wie nach der ersten, nach der vierten Alles wie nach der zweiten Umkehrung der Stromrichtung: die Erscheinungen sind also bei Platin-, Silber- und Kupfer-Elektroden nach jeder Aenderung der Stromrichtung dieselben, wechseln aber bei Eisen- und Zink-Elektroden von einer Aenderung zur anderen in der angegebenen Weise ab.

Doch bedarf es nur des wiederholten Umlegens der Wippe *A* (s. Fig. 1.) während der Versuche, um alles Räthselhafte der Erfahrungen verschwinden zu machen. Es stellt sich dann heraus, dass bei diesen Versuchen die Polarisationen ihr Spiel mit uns treiben und die wahren Widerstandsveränderungen meist uns verbergen, und dass die Unregelmässigkeiten bei den positiveren Metallen nichts Anderes sind als die Folgen der positiven Polarisation.

Die Polarisation von Platin, Silber und Kupfer ist immer negativ und nimmt in der Reihenfolge der Metalle an Grösse ab, ist jedoch auch noch bei Kupfer sehr gross. Durch sie sind alle vorbeschriebenen Erscheinungen bei diesen Versuchen im Wesentlichen bedingt, wie nach unseren Erörterungen über die elektromotorische Kraft im Nervenzweige als Fehlerquelle der Versuche (s. o. S. 21 ff.; S. 54 ff.) keiner Erläuterung weiter bedarf. Nur in zwei Erscheinungen kommen die Widerstandsveränderungen wirklich zur Geltung: in der ganz kurzen Abnahme nach der Umkehrung der Stromrichtung bei Blechen und in der Abnahme kurz nach der ersten Schliessung der Kette bei Kupfer- und Silber-Drähten; die letztere erklärt sich dadurch, dass die durch den ungeschwächten oder nur wenig erst geschwächten Strom in der ersten Zeit der Schliessung herbeigeführte Widerstandszunahme der Nervenstrecke, wenn dann die Stromintensität in Folge der Polarisation sehr rasch fast auf Null zurückgebracht ist, sich zurückbildet (vgl. die Versuche des § 1 (1) des Kap. III.).

Bei Eisen und Zink, verquicktem wie unverquicktem, tritt neben der negativen Polarisation, welche bei Eisen fast so gross ist und fast so rasch wächst wie bei Kupfer, bei Zink aber viel kleiner ist und viel langsamer

wächst, noch eine positive Polarisation[1] auf. Sie wächst nach der Schliessung der Kette viel langsamer an und nimmt nach der Umkehrung der Stromrichtung wie nach der Oeffnung der Kette viel langsamer ab als die negative Polarisation; bei andauernder Schliessung erreicht sie sehr bald bei Zink, erst später bei Eisen die Grösse der negativen Polarisation und gewinnt dann bei Zink immer mehr und beträchtlich über die letztere die Oberhand[2]. Bei unseren Versuchen bietet demgemäss die algebraische Summe beider Polarisationen oder die Gesammtpolarisation, um sie so zu nennen, welche die Fehlerquelle der Versuche abgiebt, folgendes Verhalten dar. Unmittelbar nach der Schliessung der Kette ist sie dem primären Strome entgegengesetzt gerichtet und wächst zuerst sehr rasch, dann langsamer — bei Eisen im Ganzen viel rascher als bei Zink — an; sehr bald erreicht sie ein Maximum und nimmt von diesem aus auf Null ab; bei Zink wächst sie dann noch dem primären Strome gleichgerichtet beträchtlich an. Nach der ersten Umkehrung der Stromrichtung ist die Gesammtpolarisation, da die ursprünglich positive Polarisation immer sehr rasch und beträchtlich über die ursprünglich negative Polarisation die Oberhand gewonnen hat, dem primären Strome entgegengesetzt gerichtet und sehr gross, und sie nimmt entweder zuerst noch zu und erst später ab oder sogleich ab. Nach wiederholter Umkehrung der Stromrichtung — zu der Zeit, zu welcher sie erfolgte, war die positive Polarisation der ersten Stromrichtung von der positiven Polarisation der zweiten Stromrichtung noch nicht compensirt — ist die Gesammtpolarisation dem primären Strome gleichgerichtet und sehr gross und nimmt darauf an Grösse zuerst rasch ab und dann wieder zu. Bei jeder folgenden ungeraden oder geraden Aenderung der Stromrichtung endlich ist das Verhalten der Gesammtpolarisation immer dasselbe wie die ersten beiden Male. Und durch dieses Verhalten der Gesammtpolarisation müssen nun offenbar gerade die Unregelmässigkeiten bedingt sein, welche wir wahrgenommen haben, d. h. die Abweichungen der Erscheinungen bei den positiveren Metallen von den Erscheinungen bei den negativeren Metallen; der Einfluss der wahren Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke auf die Schieberstellung bleibt durch den viel grösseren Einfluss der Polarisation fast vollkommen verdeckt und ist auf diese Weise nicht sicher erweisbar.

Es versteht sich von selbst, dass, je nachdem man viel früher oder viel später die Stromrichtung ändert, mit dem veränderten Verhalten der Polarisationen auch das scheinbare Verhalten des Widerstandes in den Ver-

1) S. o. Abschn. I. Kap. I. § 1 (4).

2) Aehnliche Erfahrungen hat *du Bois-Reymond* bei käuflichem Zink in Zinkvitriollösung und bei verquicktem Zink in destillirtem Wasser gemacht. S. Monatsberichte der Berliner Akademie der Wissensch. 1859. S. 461—3*; S. 472—3*.

suchen mit Zink- und Eisen-Elektroden ein von den obigen Angaben etwas abweichendes ist. Bei dem nebensächlichen Interesse aber, welches der ganze Gegenstand uns hier nur bietet, dürfen wir auf weitere Erörterungen uns nicht einlassen, und sie sind insofern auch gar nicht erforderlich, als nach der vorstehenden Darlegung, sobald man nur zugleich die Polarisationen verfolgt, alle Erscheinungen ohne Weiteres verständlich sind. Nur Eines wollen wir noch anmerken. Hin und wieder, im Ganzen sehr selten, kommen bei Zink-Elektroden Versuche vor, bei welchen die positive Polarisation nicht schon bei der ersten, sondern erst bei der zweiten Stromrichtung auftritt. Bei diesen Versuchen stellt sich nach der ersten Schliessung der Kette eine andauernde Zunahme des Widerstandes dar; nach der ersten Umkehrung der Stromrichtung erscheint der Widerstand sehr verringert, und er nimmt (der Schieberstellung nach) zuerst ab, dann zu und darauf (in Folge der nunmehr auftretenden positiven Polarisation) wieder ab; wird jetzt die ursprüngliche Stromrichtung wiederhergestellt, so erscheint der Widerstand sehr vergrössert und nimmt anfangs noch zu. Mit der positiven Polarisation finden wir hier also auch die scheinbare Abweichung der Widerstandsveränderungen, welche der Umkehrung der Stromrichtung folgen, verlegt.

Versuch 149.

(Versuchsanordnung Fig. 11.)

Zwei verquickte Zinkdrähte von c. 1 mm Durchmesser als Elektroden.
Wd: Capillarröhre III. — *K*: 4 Grove's.

1 *h*. 4 *m*.			Grosse Rana esc. ††.
8 *m*.			Ischiadicus aufgelegt. (Bei Oeffnung der Bussole spurweise Ablenkung.)
12 *m*.			*K* geschlossen. Stromeintritt bei *b*.
	5″.	190.	Die Stromintensität nimmt ab.
	15″.	145.	
13 *m*.		116.	
14 *m*.		73.	
15 *m*.		46.	
17 *m*.		28.	
19 *m*.		21.	
22 *m*.		19.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *a*.
	15″.	160.	Die Intensität nimmt zu.
23 *m*.	5″.	220.	Die Intensität nimmt jetzt ab.
24 *m*.		130.	

1 *h.*	25 *m.*	90.	
	27 *m.*	56.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *a*.
	10″.	179.	Die Intensität nimmt zu.
	20″.	197.	Bald darauf beginnt Abnahme der Intensität.
	28 *m.*	175.	
	29 *m.*	67.	
	30 *m.*	37.	
	32 *m.*	22.	

Der Ichiadicus ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 9^{mm}$; $bm = 12^{mm}$; $ao = 6^{mm}$; $aw = 37^{mm}$. Nach der Beendigung des Versuches ist der Nerv erst etwas unterhalb *b* mechanisch erregbar.

Versuch 150.

(Versuchsanordnung Fig. 23 *A.*, modificirt nach S. 399.)

Zwei verquickte Zinkdrähte von c. 1^{mm} Durchmesser auf der Glasplatte *P*.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell. — K_1: 1 Daniell. — Die Richtung des Stromes von *K* wechselt regelmässig von einer Widerstandsbestimmung zur anderen; bei der ersten Bestimmung tritt der Strom von *K* bei *b* ein.

9 *h.*	50 *m.*	Mittelgrosse Rana esc. ††.	
	55 *m.*	Ischiadicus auf z und z_1 gelegt.	
10 *h.*	0 *m.*	c. 605.	
	2 *m.*	612.	
	4 *m.*	611.	
	6 *m.*	611.	
			P wird gehoben, bis die Elektroden den Nerven berühren. Unterbrechung bei *Q* hergestellt. K_1 geschlossen. Der Strom von K_1 durchfliesst *cd* in der Richtung von *d* nach *c* etwas über 1 Min. lang; $cd = 5^{mm}$. — Nachdem K_1 geöffnet, Unterbrechung bei *Q* aufgehoben und *P* gesenkt, sofort
	8 *m.*	628.	
	10 *m.*	628.	
	12 *m.*	627.	
	14 *m.*	627.	
	16 *m.*	625.	

P gehoben u. s. w. wie zuerst. Die Durchströmung in derselben Richtung c. $1\frac{1}{2}$ Min. lang. — Nachdem K_1 geöffnet u. s. w., sofort

10 *h.*	18 *m.*	642.
	20 *m.*	632.
	22 *m.*	632.
	26 *m.*	631.
	30 *m.*	631.

P gehoben u. s. w. wie zuerst. Die Durchströmung in derselben Richtung c. $3\frac{1}{2}$ Min. lang. — Nachdem K_1 geöffnet u. s. w., sofort

	34 *m.*	672.
	38 *m.*	657.
	42 *m.*	656,5.
	52 *m.*	656.
11 *h.*	2 *m.*	656.

P gehoben u. s. w. wie zuerst. Die Durchströmung in derselben Richtung c. $9\frac{1}{2}$ Min. lang; *cd* jetzt$=6^{mm}$. — Nachdem K_1 geöffnet u. s. w., sofort

	12 *m.*	750.
	14 *m.*	734.
	16 *m.*	719.
	26 *m.*	707.
	36 *m.*	702.

P gehoben u. s. w. wie zuerst. Die Elektroden denselben Stellen wie zuletzt angelegt. Die Durchströmung in der entgegengesetzten Richtung (von *c* nach *d*) c. $9\frac{1}{2}$ Min. lang. — Nachdem K_1 geöffnet u. s. w., sofort

11 *h.*	46 *m.*	670.
	48 *m.*	670.
	58 *m.*	682.
12 *h.*	8 *m.*	686.

P gehoben u. s. w. wie zuerst. Die Elektroden denselben Stellen angelegt wie zuletzt. Die Durchströmung wieder in der Richtung von *c* nach *d* etwa $9\frac{1}{2}$ Min. lang. — Nachdem K_1 geöffnet u. s. w., sofort

	18 *m.*	765.
	20 *m.*	760.
	28 *m.*	742.
	38 *m.*	742.
	48 *m.*	742.
	58 *m.*	744.

Der Nerv ist in seiner ganzen Länge erhalten und mit dem Muskel in unversehrter Verbindung gewesen. $ab = 15^{mm}$, ausserdem liegt der Nerv jeder Thonspitzenkante in 3^{mm} Länge auf; $am = 5^{mm}$; $bo = 1^{mm}$; $bw = 30^{mm}$. Nach der Beendigung des Versuches ist der Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Versuch 151.

(Versuchsanordnung Fig. 1.)

Zwei Eisendrähte von c. $^2/_3{}^{mm}$ Durchmesser als Elektroden.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell.

11 *h*. 4. Zweiter Ischiadicus eines 8 *h*. 58 *m*. †† kleinen Frosches aufgelegt.
(Bei der Oeffnung der Bussole fast 2^{sc} Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend.)

9 *m*. *K* geschlossen. Stromeintritt bei *b*.

15″. 1010. Der (scheinbare) Widerstand nimmt zu.

10 *m*. 1013. Jetzt nimmt der Widerstand ab.

11 *m*. 1000.

12 *m*. 992. Bei Oeffnung von *K* auf c. 10″: c. 15^{sc} Ablenkung, Strom von *a* nach *b* anzeigend.

14 *m*. 984.

16 *m*. 936.

18 *m*. 895. Bei Oeffnung von *K* auf c. 10″: c. 9^{sc} Ablenkung wie 11 *h*. 12 *m*.

21 *m*. 849.

24 *m*. 830.

27 *m*. 820. *K* geöffnet. 3^{sc} Ablenkung, Strom von *a* nach *b* anzeigend. Die Ablenkung nimmt aber sofort auf Null ab, und es tritt die entgegengesetzte Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend, auf. Diese Ablenkung nimmt bis 27½ *m*. auf 12^{sc} zu und erhält sich so bis

28 *m*. wo *K* geschlossen wird. Stromeintritt bei *b*.

30 *m*. 810. So hält sich der Widerstand bis

34 *m*. wo *K* geöffnet wird. Alles wie 11 *h*. 27 *m*.

30″. *K* geschlossen, Stromeintritt bei *b*.

36 *m*. 806. So hält sich der Widerstand bis

40 *m*. wo *K* geöffnet wird. Alles wie 11 *h*. 27 *m*.

30″. *K* geschlossen.

42 *m*. 796. So hält sich der Widerstand bis

11 *h*.	45 *m*.			wo Wippe *B* umgelegt wird, so dass Stromeintritt bei *a*.
		15″.	1020.	Der Widerstand nimmt zu.
	46 *m*.		1145.	Bei Oeffnung von *K* auf c. 10″: 30^{sc} Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend.
	47 *m*.		1195.	
	48 *m*.		1240.	
	51 *m*.		1308.	Bei Oeffnung von *K* auf c. 10″: 50^{sc} Ablenkung wie 11 *h*. 46 *m*. Der Widerst. nimmt noch etwas zu und dann ab.
12 *h*.	1 *m*.		1195.	Bei Oeffnung von *K* auf c. 10″: 32^{sc} Ablenkung wie 11 *h*. 46 *m*.
	4 *m*.		1185.	
	9 *m*.		1165.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *b*.
		20″.	655.	Der Widerstand nimmt zu.
	10 *m*.		705.	Bei Oeffnung von *K* auf 15″: 10^{sc} Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend. Die Ablenkung nimmt rasch auf 20^{sc} zu.
	12 *m*.		731.	*K* auf c. 10″ geöffnet: Nach kleinem Vorschlage, der Strom von *a* nach *b* anzeigte, wachsende Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend.
	24 *m*.		775.	Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *a*.
		30″.	1062.	Der Widerstand nimmt zu.
	25 *m*.		1160.	Bei Oeffnung von *K* auf c. 10″: 35^{sc} Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend.
	30 *m*.		1225.	Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *b*.
		15″.	626.	Der Widerstand nimmt zu.
	31 *m*.		697.	*K* auf c. 15″ geöffnet: 12^{sc} Ablenkung, Strom von *b* nach *a* anzeigend. Die Ablenkung wächst rasch auf 20^{sc} an.
	33 *m*.		741.	*K* geöffnet. Nach kleinem, Strom von *a* nach *b* anzeigendem Vorschlage tritt die entgegengesetzte Ablenkung auf, welche rasch wächst.

Der Nerv war in seiner ganzen Länge erhalten, vom Muskel aber getrennt. Sein Wirbelende lag nach rechts, sein Muskelende nach links. $ab = 8^{mm}$; $al = 8^{mm}$; $bo = 5^{mm}$; $br = 30^{mm}$.

Versuch 152.

(Versuchsanordnung Fig. 1.)

Linke Elektrode: verquicktes Zinkblech, 4^{mm} breit. Rechte Elektrode: verquickter Zinkdraht von c. $^2/_3{}^{mm}$ Durchmesser.

Wd: Capillarröhre III. — *K*: 1 Daniell.

12 *h*. 0 *m*.			Kleiner Frosch ††.
5 *m*.			Ischiadicus aufgelegt. (Bei Oeffnung der Bussole 5^{sc} Ablenkung, Strom von *a* nach *b* anzeigend).
13 *m*.			*K* geschlossen. Stromeintritt bei *b*.
	10″.	715.	Zunahme.
14 *m*.		753.	
15 *m*.		775.	
19 *m*.		800.	
23 *m*.		840.	
28 *m*.		894.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt bei *a*.
	15″.	864.	Abnahme.
29 *m*.		830.	
30 *m*.		811.	
31 *m*.		807.	Jetzt Zunahme.
32 *m*.		809.	
34 *m*.		829.	
36 *m*.		862.	
40 *m*.		914.	
44 *m*.		936.	Jetzt Abnahme.
49 *m*.		910.	
51 *m*.		790.	
53 *m*.		749.	
55 *m*.		729.	
58 *m*.		718.	Sofort Wippe *B* umgelegt, so dass Stromeintritt wieder bei *b*.
	30″.	1170.	Rasche Zunahme.
59 *m*.		1230.	
1 *h*. 0 *m*.		1270.	
2 *m*.		1320.	*K* geöffnet. — 20^{sc} Ablenkung, Strom von *a* nach *b* anzeigend.

Der Nerv ist in seiner ganzen Länge erhalten und in unversehrter Verbindung mit dem Muskel gewesen. $ab = 13^{mm}$, ausserdem *a* 4^{mm} breit; $am = 5^{mm}$; $bo = 3^{mm}$; $bw = 25^{mm}$. Nach der Beendigung des Versuches ist der Nerv noch dicht an der Wirbelsäule mechanisch gut erregbar.

Kapitel VI.

Von der Flüssigkeitsfortführung und ihren Folgen in den feuchten porösen Körpern und insbesondere im Nerven.

Dem Mangel, welcher in unserer Kenntniss der Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke am Eingange des vorigen Kapitels noch fühlbar gewesen war, ist jetzt abgeholfen, und ein letzter Schritt bleibt uns zu thun, unsere Untersuchung der intrapolaren Nervenstrecke einem befriedigenden Abschlusse zuzuführen.

Wie wir nunmehr eingestehen dürfen, haben wir an einer frühen Stelle unserer Untersuchungen einer Willkür uns schuldig gemacht. Bei der in der Einleitung gegebenen Darlegung der Erfahrungen über die Flüssigkeitsfortführung durch den Strom (s. Abschn. I. Kap. I. § 2.) hatte von der Fortführung im Capillarrohre durch die Fortführung im engen Spalte zwischen Glaswandungen, der die Flüssigkeit zu beiden Seiten trennte, ein natürlicher Uebergang sich uns ergeben zu der Fortführung im feuchten porösen Körper, und wir hatten einen ersten Fall, in welchem dieselbe Flüssigkeit die Hohlräume des Körpers erfüllte und zu seinen Seiten sich befand, noch genau studirt und durchsichtig gefunden. Auf Schwierigkeiten und Dunkelheiten waren wir aber gestossen, sobald die Flüssigkeit des feuchten porösen Körpers und die Flüssigkeit zu seinen Seiten ungleichartig wurden oder Metalle den Strom unmittelbar dem feuchten porösen Körper zu- und von ihm fortführten: allenfalls von den Gestaltsveränderungen, nicht aber von den Erscheinungen des äusseren secundären Widerstandes, welche hier bekannt geworden waren, hatte ein tieferes Verständniss sich gewinnen lassen, und gerade der Versuch, den äusseren secundären Widerstand durch die Verarmung des Stromeintrittsendes des feuchten porösen Körpers zu erklären, war gescheitert. Trotzdem haben wir im § 3. des Kap. II. die Widerstandszunahme der Nervenstrecke, welche unter der Einwirkung des Stromes erfolgt war, ganz unbekümmert um die Gefahr, dass sie einen anderen Ursprung haben konnte, ohne Weiteres der Verarmung der Nervenstrecke zugeschrieben. Aber diese unsere Willkür ist, von minder Wesentlichem zu schweigen, durch die durchgängige Uebereinstimmung der aufgefundenen Gestaltsveränderungen des Nerven mit den Folgerungen, welche wir aus den beobachteten Widerstandsveränderungen gezogen hatten, längst so weit gerechtfertigt, dass nicht einmal mehr an eine zweite Ursache der Widerstandszunahme neben der Verarmung gedacht werden kann. Nur wie die

Verarmung selbst zu Stande gekommen, ist uns noch ganz unbekannt, und um dieses Verständniss wollen wir jetzt uns bemühen: wir wollen, wie wir S. 53. es uns vorbehalten haben, die Bedingungen der Flüssigkeitsfortführung zu ermitteln suchen, welche zur Verarmung geführt haben.

So einfach die Ermittelung zunächst wohl scheinen konnte, so verwickelt ist sie in Wirklichkeit. Sie gestaltet sich zu einem ausgedehnten Studium der Flüssigkeitsfortführung und ihrer Folgen, das, obwohl speciell der Nerv uns interessirt, doch auf die feuchten porösen Körper im Allgemeinen sich erstrecken muss. Es werden aber damit auch die Lücken ausgefüllt werden, welche hinsichts der inneren Vorgänge in der Nervenstrecke besonders in den Fällen der §§ 2. u. 3. des Kap. V. oben noch geblieben sind, und ein durchgreifendes Verständniss unserer früheren Erfahrungen insgesammt gewonnen werden.

Auf dem Wege der Analyse der Beobachtungen, welchen wir im Wesentlichen bisher immer eingehalten haben, ist in der nächsten Folge nicht durchzudringen: dazu sind die Erscheinungen viel zu verwickelt und im Einzelnen zu wenig genau zu übersehen. Unser Fortschritt ist vielmehr jetzt daran geknüpft, dass wir regelmässig Schritt für Schritt vom Einfacheren zum Verwickelteren durch die Ueberlegung uns fortzuhelfen suchen und mit den Ergebnissen der Ueberlegung dann die Ergebnisse des Versuches vergleichen. Die Vortheile des Ganges, welchen unsere Darlegung der Untersuchungen genommen hat, werden dabei klar sich herausstellen: auf Grund des gesammelt vorliegenden Erfahrungsmateriales werden wir nicht nur die Probleme übersichtlich und im Zusammenhange zu behandeln, sondern auch an den entscheidenden Punkten die richtigen Fragen zu stellen im Stande sein.

Bevor wir jedoch unserem eigentlichen Vorhaben uns zuwenden, müssen wir noch bei dem Strömungsvorgange im Nerven verweilen.

§ 1. Von dem Strömungsvorgange im Nerven und von seinem Einflusse auf den Widerstand der durchströmten Nervenstrecke.

Sind an die beiden Querschnittflächen — die senkrechten Grundflächen — einer cylindrischen Nervenstrecke in der ganzen Ausdehnung derselben unsere Thonspitzen oder irgendwelche andere den Strom zu- und abführende Theile des Kreises angelagert, so ist die Stromleitung in der Nervenstrecke eine lineare wie in dem mittleren Theile eines die Pole einer galvanischen Kette verbindenden Drahtes. Dieser Fall trifft jedoch bei den Untersuchungen des Nerven nie zu, da für das rein physiologische Studium des Nerven die Verbindung desselben mit End- resp. Centralorganen erhal-

ten sein muss und bei den physikalischen Untersuchungen des Nerven, wie schon früher bemerkt ist (s. o. S. 368.), die gute Anlagerung zweier Querschnittflächen des Nerven an die zuleitenden Theile ohne Beschädigung des Nerven nicht zuverlässig gelingt. Wir haben es daher bei den Versuchen am Nerven immer mit einer alinearen Stromleitung in demselben zu thun.

Dieses Umstandes ist man schon längst so weit sich bewusst geworden, dass man vielfach an die Stromschleifen gedacht hat, welche ausserhalb der Elektroden den Nerven durchsetzen und dort in andere thierische Theile oder Theile der Versuchsanordnung sich hineinbiegen können. Doch hat man bisher ganz ausser Acht gelassen den Einfluss, welchen die alineare Stromleitung auf die Stromstärke und die Stromdichte in den verschiedenen Theilen der durchströmten Nervenstrecke wie auf den Widerstand derselben ausübt. An die Kenntniss gerade dieses Einflusses ist aber das Verständniss zahlreicher physikalischer und physiologischer Erfahrungen am Nerven geknüpft, wie ein Rückblick auf § 2. des Kap. III. lehrt und aus der Folge noch sattsam hervorgehen wird.

Bei dem gegenwärtigen Stande der Lehre von der Strombewegung in nicht prismatischen Leitern[1] ist natürlich eine genaue Erkenntniss der Stromleitung im Nerven zur Zeit nicht zu beanspruchen; ja, eine solche Erkenntniss ist sogar in unabsehbare Ferne gerückt dadurch, dass eine für einen gleich gestalteten homogenen Leiter erworbene Kenntniss noch gar nicht auf den Nerven sich würde übertragen lassen, weil dieser, wie des Weiteren zu erfahren uns bevorsteht, ein Körper von sehr verwickelter Constitution ist. Aber im Groben vermögen wir eine Einsicht in die Stromleitung im Nerven, indem wir ihn als einen homogenen Körper ansehen, uns zu verschaffen: und um eine solche, für uns schon höchst werthvolle Einsicht wollen wir im Folgenden uns bemühen.

An mittlere Stellen eines cylindrischen Nerven seien die beiden Elektroden neben einander angelagert und zwar so, dass der Abstand der Elektroden die Dicke des Nerven mehrfach übertrifft und gleich lange Nervenstrecken auf beiden Seiten ausserhalb der Elektroden bleiben. Für den durch die Axe gelegten Längsdurchschnitt des Nerven versinnlicht alsdann Fig. 24 *A.*, was die Anschauung über den Strömungsvorgang in der Durchschnittsebene ergiebt. Die punktirten Linien sind eine Anzahl isoelektrischer Curven, die ausgezogenen Linien eine Anzahl Strömungscurven. Die erste und die letzte isoelektrische Curve sind die Berührungslinie der Ebene und der Elektroden; die mittelste isoelektrische Curve ist

1) Vgl. *Wiedemann* a. a. O. Bd. I. S. 142—50*; Bd. II. S. 1038—40*. — *A. Fick*, Die medicinische Physik. Zweite Auflage. Braunschweig 1866. S. 332 ff.*

die Halbirungslinie der Ebene, zu deren beiden Seiten Alles symmetrisch ist. Die erste Strömungscurve ist die die beiden Elektroden verbindende und die Ebene dort begrenzende Gerade; die letzte Strömungscurve ist die gebrochene Linie, welche im Uebrigen die Begrenzung der Ebene bildet.

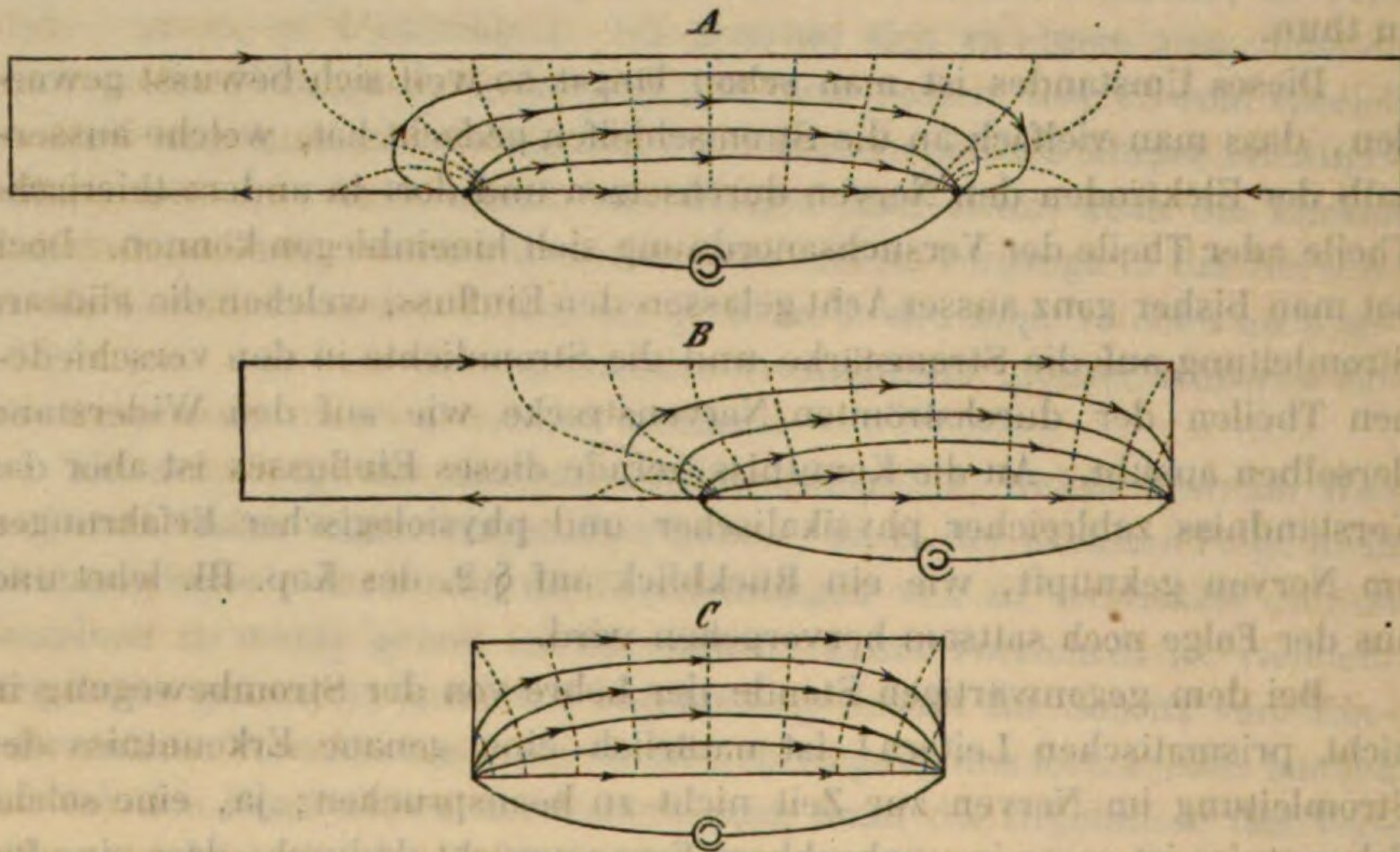


Fig. 24.

Die isoelektrischen Curven können wir als die senkrechten Querschnitte der Strombahn in unserer Ebene auffassen. Der Querschnitt der Gesammtströmung wächst also von der Berührungslinie der positiven Elektrode aus rasch an zu einem Maximum und nimmt dann langsamer wieder ab, bis er mit der Halbirungslinie der Ebene zusammenfällt; darauf nimmt er von Neuem bis zu demselben Maximum wie vorher zu und wird schliesslich bis zur Berührungslinie der negativen Elektrode kleiner. Für das System isoelektrischer Curven folgt daraus, dass die Spannungsdifferenz zweier benachbarter Curven jederseits in der Richtung von der Elektrode nach der Halbirungslinie der Ebene hin zuerst bis zu einem Minimum abnimmt und darauf von Neuem zunimmt; auch muss dasselbe für die Spannungsdifferenz isoelektrischer Curven von gleichem, auf einer Strömungscurve gemessenem Abstande gelten. Wie die Spannungsdifferenz gleich weit und wenig von einander entfernter Punkte der Ebene, welche auf einer und derselben langen Seite der Ebene oder einer dieser Seite parallelen Linie gelegen sind, im Verlaufe der Linien sich ändert, versinnlichen danach die Curven der Fig. 25 *A*. und *B*., und zwar die ausgezogene Curve Fig. 25 *A*., wenn die Punkte nahe der unteren (von den Elektroden

berührten) langen Seite, die ausgezogene Curve Fig. 25 *B.*, wenn die Punkte nahe der oberen langen Seite der Ebene, endlich die gestrichelte Curve Fig. 25 *B.*, wenn die Punkte auf einer etwa die Ebene der Länge nach in zwei Hälften theilenden Linie gelegen sind; die Abscissenaxe stellt überall die betreffende Linie vor, und jede Ordinate giebt die Spannungsdifferenz an, welche zwischen den betrachteten Punkten besteht, wenn deren Abstand der Fusspunkt der Ordinate halbirt.

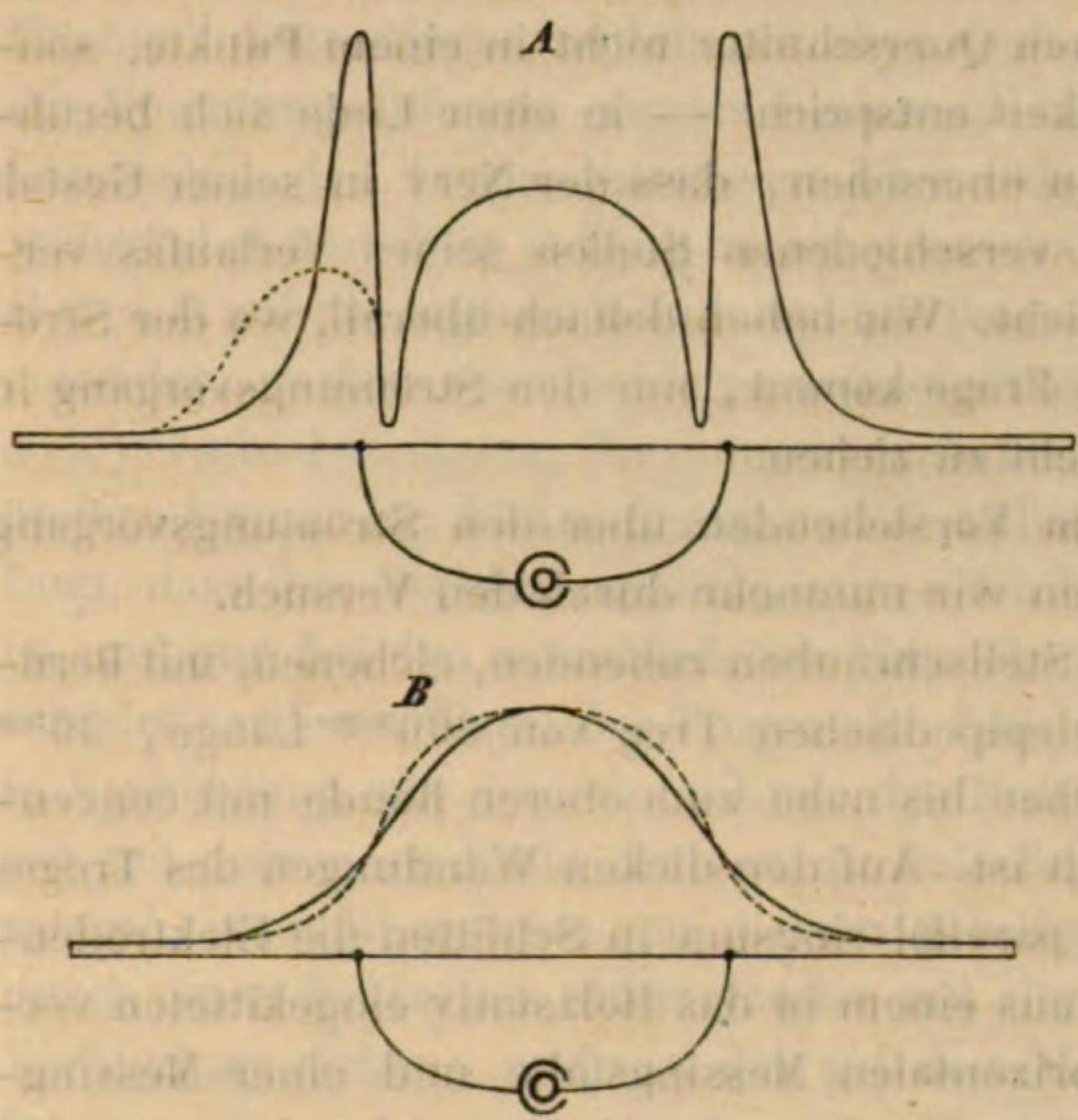


Fig. 25.

Was das System der Stromfäden oder partiellen Strombahnen betrifft, so ist die Spannungsdifferenz an den beiden Enden aller Stromfäden die nämliche, und der Querschnitt variirt bei allen Stromfäden im Verlaufe derselben in gleicher Weise, den Veränderungen des Querschnittes der Gesammtströmung entsprechend; es nimmt aber die Länge der Stromfäden zu und damit die Intensität der Partialströme ab, je weiter entfernt von der die Elektroden verbindenden Geraden die Stromfäden die Halbirungslinie der Ebene schneiden. Die Stromdichte verändert sich also einmal in jedem einzelnen Stromfaden derart, dass sie jederseits von der Berührungslinie der Elektrode bis zur längsten isoelektrischen Curve abnimmt und darauf bis zur Halbirungslinie der Ebene zunimmt, und wird zweitens auch, auf einer und derselben isoelektrischen Curve gemessen, im Systeme der Stromfäden mit dem Abstande von der die Elektroden verbindenden Geraden kleiner.

Mit dem Strömungsvorgange in der Ebene Fig. 24 *A.* ist nun zugleich der Strömungsvorgang in einem rechtwinkeligen Parallelepipedum gegeben, dessen eine lange Seite jene Ebene bildet, da in allen parallelen Ebenen des Parallelepipedums der Strömungsvorgang derselbe sein muss. Und mit dem Strömungsvorgange im Parallelepipedum ist für uns mit ausreichender Genauigkeit der Strömungsvorgang im Nerven gewonnen. Denn wenn wir uns das Parallelepipedum aus dem Cylinder geschnitten denken, kann das nachträgliche Ansetzen der vorher fortgefallenen Cylinder–

abschnitte an die drei Seiten des Parallelepipedums, welchen die Elektroden nicht anliegen, den Strömungsvorgang nur unwesentlich verändern, der Wegfall des Cylinderabschnittes auf der Elektrodenseite ist aber gerade werthvoll deshalb, weil nunmehr die Elektrode und der Nerv auf dem durch sie gelegten senkrechten Querschnitte nicht in einem Punkte, sondern — wie es der Wirklichkeit entspricht — in einer Linie sich berühren; zudem ist auch nicht zu übersehen, dass der Nerv in seiner Gestalt mehr oder weniger und an verschiedenen Stellen seines Verlaufes verschieden vom Cylinder abweicht. Wir haben danach überall, wo der Strömungsvorgang im Nerven in Frage kommt, nur den Strömungsvorgang in der Ebene Fig 24 *A*. in Betracht zu ziehen.

Was die Anschauung im Vorstehenden über den Strömungsvorgang im Nerven ergeben hat, prüfen wir nunmehr durch den Versuch.

Wir benutzen einen auf Stellschrauben ruhenden, eichenen, mit Bernsteinlack gefirnissten parallelepipedischen Trog von 300^{mm} Länge, 30^{mm} Breite und 30^{mm} Tiefe, welcher bis nahe zum oberen Rande mit concentrirter Zinkvitriollösung gefüllt ist. Auf den dicken Wandungen des Troges sind den Rändern desselben parallel ringsum in Schlitten die Elektrodenhalter verschiebbar, welche aus einem in das Holzstativ eingekitteten verticalen Glasstabe, einem horizontalen Messingstabe und einer Messingklemme bestehen; an dem Glasstabe lässt der Messingstab, der von einer langen Seite des Troges zur anderen hinüberreicht, und am Messingstabe wieder die Messingklemme sich verschieben und durch eine Schraube feststellen. Als Elektroden dienen verquickte Zinkdrähte von c. 0,5^{mm} Durchmesser, welche vertical in die Zinkvitriollösung bis auf etwa 1^{mm} Abstand vom Boden des Troges tauchen und unterhalb ihres in der Messingklemme befestigten Endes auf eine grössere Strecke hin, nämlich bis auf einige Mm. unterhalb des Flüssigkeitsspiegels, mit geschwärztem Bernsteinlack überzogen sind.

Von vier Elektroden *A*, *B*, *C* und *D* verbinden wir zunächst *A* und *B* mit einem Daniell, *C* und *D* mit dem Multiplicator[1]. *A*, *C* und *B* bringen wir in dieser Reihenfolge neben einander so an, dass sie nur c. 1^{mm} von der vorderen Wand des Troges entfernt sind, und wir stellen *A* und *B* im mittleren Theile des Troges z. B. in 100 resp. 200^{mm} Abstand vom linken Rande des Troges unbeweglich fest; *C* bleibt in der Verbindungslinie von *A* und *B* verschiebbar, *D* bleibt ausserhalb von *A* und *B* ganz frei beweglich.

1) Um die Versuche kürzer und übersichtlicher darlegen zu können, unterlassen wir es in diesem §, die Aufnahme *du Bois*'scher Schlüssel, *Pohl*'scher Stromwender und des Rheochordes in die Versuchskreise besonders anzugeben; die Verwendung der genannten Apparate bietet für die Genauigkeit der Versuche mannigfache, leicht zu übersehende Vortheile.

Wir verschieben alsdann C von A nach B hin und suchen für jede Stellung von C solche Stellungen von D — nahe dem Rande des Troges und entfernter von demselben — auf, bei welchen die Nadel des Multiplicators keine Ablenkung erfährt. Auf diese Weise gewinnen wir die isoelektrischen Flächen. Ausserdem ermitteln wir aber noch die Verschiedenheiten, welche die Spannungsdifferenz zweier Linien gleichen Abstandes in einer den Langseiten des Troges parallelen Ebene darbietet. Wir bringen dazu, während A und B in jeder Beziehung unverändert bleiben, die Halter von C und D auf die hintere Wandung des Troges und verbinden sie fest mit einander, so dass zwar beide gemeinschaftlich auf der hinteren Wandung sich verschieben lassen, ihr einmal gegebener Abstand aber sich nicht verändern kann; den Elektroden C und D selbst geben wir eine solche Stellung, dass ihre Verbindungslinie immer den Langseiten des Troges parallel ist und nur bei den verschiedenen Versuchen in verschiedenem Abstande von der vorderen Wand des Troges sich befindet. C lassen wir ferner noch in Verbindung mit dem einen Ende des Multiplicators; D aber verknüpfen wir mit dem einen Ende des von *du Bois-Reymond* angegebenen Compensators[1], eines Rheostaten von dickem Messingdrahte, dessen beide Enden durch einen *Pohl*'schen Stromwender mit einem *Daniell*'schen Elemente in Verbindung stehen; und von der auf dem Messingdrahte gleitenden Hülse führen wir eine Leitung zum zweiten Ende des Multiplicators. Wir verschieben nunmehr C und D von einer kurzen Seite des Troges zur anderen und führen bei jeder Stellung von C und D durch Verschiebung der Messingdrahthülse die Nadel des Multiplicators aus ihrer Ablenkung auf Null zurück: wir erhalten so die verschiedenen Spannungsdifferenzen ausgedrückt in den proportionalen Längen des Messingdrahtes zwischen den Enden des Multiplicatorkreises.

Auch an parallelepipedischen Modellirthon-Stäben von 200—500^{mm} Länge, 30^{mm} Breite und 6—10^{mm} Dicke führen wir dieselben Untersuchungen aus. Wir benutzen dabei lauter Zuleitungsröhren mit Thonspitzen, für welche jedes Mal derselbe mit 1—2%iger Kochsalzlösung angeriebene Thon, wie für den zu untersuchenden Stab, verwandt ist. Die beiden mit der Kette verbundenen Zuleitungsröhren legen wir in c. 100^{mm} Abstand einer schmalen Langseite des Stabes so an, dass sie gerade die Mitte des Stabes zwischen sich fassen. Aus Gründen, welche später werden ersichtlich werden [s. u. § 3(2)], formen wir die Thonspitzen stets dick und nur wenig kegelförmig und kneten die beiden im Kreise der Kette befindlichen Thonspitzen noch durch leichten Fingerdruck mit dem Stabe zusammen.

1) *E. du Bois-Reymond*, Beschreibung u. s. w., a. a. O. S. 107 ff.*; *Reichert's* und *du Bois-Reymond's* Archiv, 1863. S. 546—8*. — *Wiedemann* a. a. O. Bd. II. S. 1067 ff.*

Die Versuche bestätigen und specificiren, was die Anschauung vorher gelehrt hat, und nach den Ergebnissen der Versuche sind die Figg. 24*A*. und 25. entworfen. Als Abweichung der Erfahrung von der Voraussicht ist nur anzumerken, dass die Spannungsdifferenz zweier Linien gleichen Abstandes an der vorderen Wand des Troges, wenn man sich der kurzen Seite des Troges nähert, nachdem sie vorher auf ein Minimum abgenommen hat, noch ein wenig anwächst. Die Abweichung ist aber wohl nur eine scheinbare und zu unwesentlich, als dass wir sie weiter zu beachten und um die Ursache derselben uns zu bemühen brauchten; die Verzerrung der isoelektrischen Flächen, welche durch das Anlegen des Bogens bedingt ist und welche wir bei der nur geringen für uns erreichbaren Genauigkeit ganz haben vernachlässigen dürfen, ist wohl, beiläufig bemerkt, nicht dabei im Spiele.

Von dem bisher betrachteten Falle aus lassen einige andere Fälle alinearer Durchströmung des Nerven leicht sich übersehen.

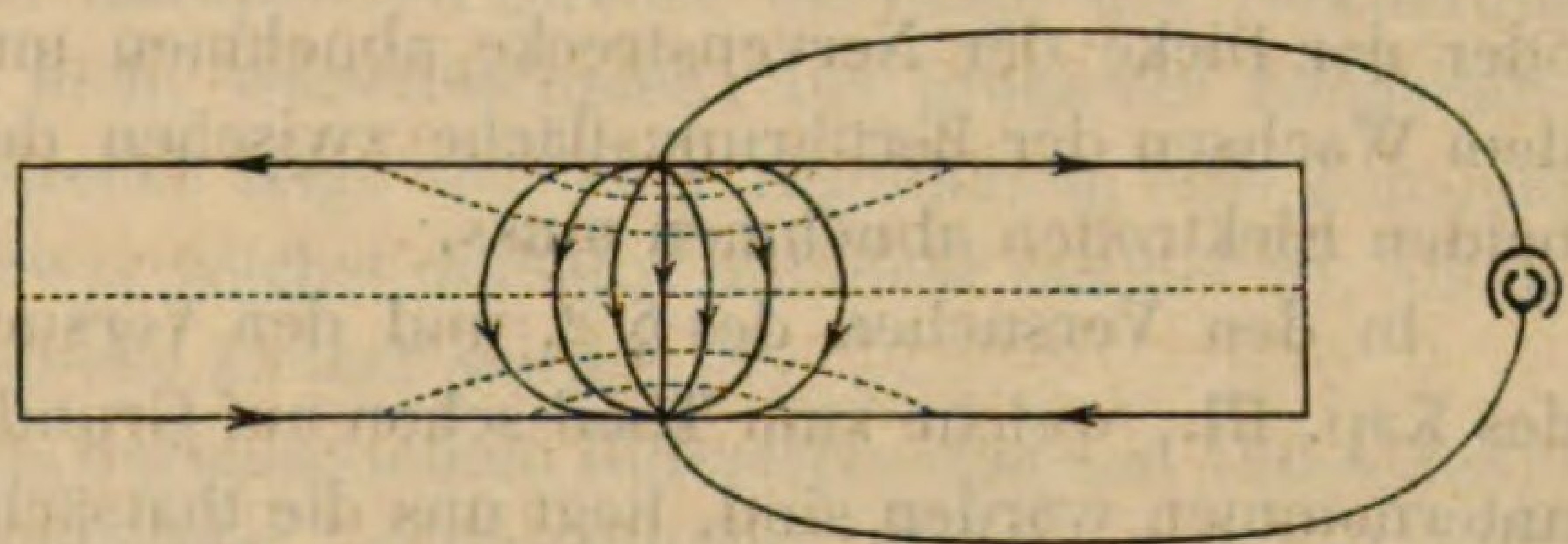
Wird unser Nerv in der Mitte zwischen beiden Elektroden quer durchschnitten und, während die eine Elektrode unverändert an ihrer Stelle bleibt, die andere Elektrode der neuen Querschnittfläche des Nerven in deren ganzer Ausdehnung angelagert, so ist selbstverständlich der Strömungsvorgang in der betreffenden Nervenhälfte genau derselbe wie vorher. Die rechte oder die linke Hälfte der Fig. 24*A*. giebt also ein Bild des Strömungsvorganges im Nerven für den Fall, dass der Strom an einer Querschnittfläche ein- resp. austritt und an einer mittleren Stelle aus- resp. eintritt.

Wird von unserem Nerven die eine extrapolare Nervenstrecke dicht ausserhalb der Elektrode abgetragen, so versinnlicht den nunmehrigen Strömungsvorgang im Nerven Fig. 24*B*. (s. o. S. 414.); und Fig. 24*C*. zeigt, wie der Strömungsvorgang sich gestaltet, wenn auch die zweite extrapolare Nervenstrecke dicht an der anderen Elektrode abgeschnitten wird. Aus der Vergleichung der Figg. 24*A*., *B*. und *C*. unter einander lassen die Folgen unvollkommener Abtragung einer oder beider extrapolarer Nervenstrecken ohne Schwierigkeit sich entnehmen.

Wächst endlich die Breite der Elektrode, d. h. ihre Ausdehnung in der Richtung der Axe des Nerven, einerseits oder beiderseits und zwar so, dass der Abstand der beiden Elektroden nicht kleiner und die betreffende extrapolare Nervenstrecke nicht soviel kürzer wird, dass dadurch der Strömungsvorgang im Nerven wesentlich beeinflusst würde (s. u. S. 421.), so laufen die Veränderungen des Strömungsvorganges im Wesentlichen auf die Verbreiterung der Strombahn in der Nähe der Elektrode der betreffenden Seite hinaus. Die Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der Elektrode dürfen wir auch ferner noch als die erste resp. letzte isoelek-

trische Fläche ansehen, obwohl bei einigermassen breiter Elektrode die Spannung der Elektrodenpunkte an der Berührungsfläche, wenn nicht Metalle als Zuleiter des Stromes dienen, in Wirklichkeit eine wesentlich verschiedene sein wird; wir müssen damit aber natürlich erst recht jeder genaueren Einsicht in den Strömungsvorgang entsagen. Was das Verhalten der Spannungsdifferenz betrifft, so tritt für den Fall, dass nur die eine Elektrode verbreitert ist und ihre Breite den Durchmesser des Nerven übertrifft, an die Stelle der ausgezogenen Curve der Fig. 25*A*. jetzt die punktirte Curve derselben Figur, soweit eben die letztere Curve von der ersteren sich absetzt; die Curven der Fig. 25*B*. dürfen dagegen auch jetzt noch ihre Gültigkeit behalten, weil die in Wirklichkeit bestehenden Abweichungen nur gering sind.

Von besonderem Interesse ist dann für uns nur noch der Fall querer Durchströmung des Nerven. Für diesen Fall versinnlicht den Strömungsvorgang im Nerven Fig. 26., in welcher Alles wie in Fig. 24. gehalten ist und welche deshalb keiner Erläuterung weiter bedarf.


Fig. 26.

Auch in allen vorstehenden Fällen findet, was die Anschauung lehrt, in den Ergebnissen der Versuche am Troge und an den Thonstäben seine Bestätigung, und wiederum sind die letzteren Ergebnisse den Figuren zu Grunde gelegt. Der Einfluss der Elektrodenbreite lässt sich gut nur am Troge studiren, indem statt der Drähte Platten von verquicktem Zink in die Messingklemmen der Elektrodenhalter eingespannt werden. Den Einfluss der Verkürzung der extrapolaren Nervenstrecke ermitteln wir am Troge auf die Weise, dass wir die Elektroden *A* und *B* in unverändertem Abstande von der Mitte des Troges aus nach einer kurzen Seite desselben hin verschieben: wieso dieses Verfahren das Abtragen der extrapolaren Strecke fehlerlos ersetzen kann, wird sehr bald aus anderweitigen Erfahrungen hervorgehen (s. u. S. 422.).

Es versteht sich nunmehr von selbst, dass man den Widerstand der im Kreise der Kette befindlichen Nervenstrecke keineswegs, wie unsere Vorgänger es immer gethan haben[1], der Länge der Nervenstrecke zwischen

1) S. z. B. *Pflüger*, Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus. S. 143*; 144*. — *R. Heidenhain*, Studien des physiologischen Instituts zu Breslau. Heft I. Leipzig 1861. S. 18*; 19 ff.*

den Elektroden proportional und dem Querschnitte (der Dicke) der Nervenstrecke umgekehrt proportional setzen darf. Alle in solcher Weise ausgeführten Rechnungen sind illusorisch und finden keine Bestätigung durch den Versuch. Der Widerstand der Nervenstrecke ist vielmehr offenbar nur gegeben durch die Summe der Widerstände aller Stromfäden, und der Widerstand eines jeden Stromfadens setzt sich zusammen aus den Widerständen aller Längenelemente des Stromfadens, die wie lineare Leiter zu behandeln sind. Von einer genaueren Bestimmung des Widerstandes der Nervenstrecke kann danach natürlich nicht mehr die Rede sein, und wir müssen uns mit der Einsicht zufrieden geben, wie mit gewissen Bedingungen jener Widerstand sich verändert. In dieser Hinsicht ergiebt sich aber aus der Betrachtung des Strömungsvorganges ohne Weiteres, dass der Widerstand der Nervenstrecke unter sonst gleichen Umständen 1) mit der Länge der Nervenstrecke oder dem Abstande der Elektroden, nur langsamer als dieser Abstand, wachsen muss; 2) mit dem Wachsen des Querschnittes oder der Dicke der Nervenstrecke abnehmen muss; endlich 3) auch mit dem Wachsen der Berührungsfläche zwischen dem Nerven und jeder der beiden Elektroden abnehmen muss.

In den Versuchen des § 2. und den Versuchen 64. und 65. des § 3. des Kap. III., welche zum Theil schon auf Grund unserer jetzigen Einsicht unternommen worden sind, liegt uns die thatsächliche Bewährung unserer Folgerungen bereits vor. Damit ist denn auch die Richtigkeit der Vorstellungen erhärtet, welche wir vom Stömungsvorgange im Nerven gewonnen haben. Wer bisher noch etwa hätte glauben mögen, die voraufgegangenen Ergebnisse der Anschauung und der Versuche am Troge und an den Thonstäben seien unrichtig oder wenigstens nicht auf den Nerven übertragbar, muss also jetzt diesen Glauben unbedingt fallen lassen; und wenn in einem einzelnen Falle bei einer gewissen Veränderung des Nerven der Widerstand der intrapolaren Nervenstrecke wider Erwarten verändert sich zeigt (s. o. S. 338.), muss er unseren Schluss billigen, dass dort neben der beabsichtigten eine unbeabsichtigte und unbekannte Veränderung des Nerven eingegangen ist.

Der einzelne Fall, welchen wir bei den letzten Worten im Sinne hatten, ist die Abnahme der Länge der extrapolaren Strecke. Mit ihr werden, wie ein Blick auf Fig. 24. lehrt, die Länge und der Querschnitt zugleich der Gesammtströmung kleiner. Ob und wie dadurch bei mässiger Verkürzung der extrapolaren Strecke der Widerstand sich verändert, ist mit Hülfe der Anschauung nicht auszumachen; bei beträchtlicher Verkürzung aber scheint der Verlust der Gesammtströmung an Länge ihren Verlust an Querschnitt in Bezug auf den Widerstand nicht compensiren zu können, und die Anschauung lässt hier eine Zunahme des Widerstandes erwarten. In der That

ergeben auch eine solche Zunahme auf das Zuverlässigste die folgenden Versuche.

Von einem Thonstabe von der vorhin angegebenen Beschaffenheit nehmen wir eine mittlere Strecke statt des Nerven in die eine Leitung der gespaltenen Strecke der Versuchsanordnung Fig. 1., in deren correspondirender Leitung der *Siemens*'sche Rheostat sich befindet, mittelst zweier Zuleitungsröhren mit Thonspitzen auf und verfolgen die Widerstandsveränderungen, welche die Strecke während der Durchstömung erfährt und die in der Regel nur gering sind. Wenn der Widerstand nur noch sehr langsam und in vorauszusehender Weise regelmässig sich verändert, schneiden wir verschieden lange Stücke von der einen und dann von der anderen extrapolaren Strecke rasch ab; zur Controle kneten wir auch hin und wieder das abgeschnittene Stück später wieder an. So lange die Länge der extrapolaren Strecke nicht unter c. 50^{mm} sinkt, ist eine Veränderung des Widerstandes der intrapolaren Strecke als Folge der Verkürzung der extrapolaren Strecke nicht wahrzunehmen; bei grösserer Längenabnahme der extrapolaren Strecke zeigt sich aber regelmässig eine Zunahme jenes Widerstandes, und zwar wächst derselbe nunmehr rascher an, als die Länge der extrapolaren Strecke kleiner wird.

Auch an Cylindern aus hartgesottenem Hühnereiweiss von $100-300^{mm}$ Länge und $8-10^{mm}$ Durchmesser, deren mittlere Strecke wir mit Hülfe unserer gewöhnlichen Zuleitungsröhren mit breiten Thonspitzen in die Leitung aufnehmen, machen wir dieselben Erfahrungen. Für unsere früheren, gewissermassen unmittelbaren Versuche über den Strömungsvorgang sind die Eiweisscylinder nicht gut verwendbar, weil ihr Widerstand während der Durchströmung öfters beträchtlich zunimmt, besonders aber weil bei der Verstellung der mit dem Multiplicator verbundenen Elektroden schon die verschieden gute Anlagerung dieser wesentliche Widerstandsverschiedenheiten bedingt; auch trübt die Resultate, dass ein Eiweisscylinder von einiger Länge kaum je in überall gleicher Beschaffenheit sich herstellen lässt und in der Regel bei genauer Untersuchung an verschiedenen Stellen verschiedene Consistenz und verschiedene Leitungsfähigkeit darbietet. Hier aber fallen diese Fehlerquellen zu einem Theile fort, zum anderen Theile sind sie nur von untergeordneter Bedeutung, und die Versuche lassen sich ebenso gut an Eiweisscylindern wie an Thonstäben anstellen. Die Widerstandszunahme der intrapolaren Strecke tritt bei den Eiweisscylindern auf, sobald die Länge der extrapolaren Strecke unter c. 25^{mm} sinkt, und nimmt mit der weiteren Verkürzung der extrapolaren Strecke rasch zu.

Da nach den vorstehenden Ergebnissen die Länge der extrapolaren Strecke oberhalb einer mässigen Grösse ohne allen Einfluss auf den Wider-

stand der intrapolaren Strecke ist, können wir die Versuche über den Einfluss der Länge der extrapolaren Strecke auch so anstellen, dass wir die Elektroden der Kette in unverändertem Abstande vom Mittelstücke des langen Leiters aus nach seinem einen Ende hin verschieben. An Thonstäben und Eiweisscylindern sind die Erfolge der neuen Versuche wegen der Fehler, welche die Verstellung der Elektroden mit sich bringt (s. o.), nicht sehr befriedigend. Anders am Troge, wo, wenn man nicht genau eingepasste Holzstücke einbringen will, ausschliesslich die neuen Versuche ausführbar sind. Werden hier die Elektroden von der Mitte nach einer kurzen Seite des Troges hin verschoben, so verändert sich der Widerstand der intrapolaren Strecke ganz regelmässig so, dass er zuerst lange Zeit constant bleibt, zuletzt aber, wenn der Abstand der nächsten Elektrode von der kurzen Seitenwand des Troges unter c. 30^{mm} sinkt, rasch zunimmt. Und zwar übertrifft der Widerstand der intrapolaren Strecke in der Endstellung ihren Widerstand in der Mittelstellung um einen desto grösseren Bruchtheil des letzteren Widerstandes, je kürzer die intrapolare Strecke ist.

§ 2. Von der Flüssigkeitsfortführung und ihren Folgen im homogenen feuchten porösen Körper und insbesondere im linear durchströmten Nerven.

(1.) Was die Anschauung über die Flüssigkeitsfortführung und ihre Folgen im linear durchströmten feuchten porösen Körper ergiebt.

Nach diesen Voruntersuchungen wenden wir uns unserem eigentlichen Vorhaben zu, das Dunkel zu erhellen, welches die Flüssigkeitsfortführung und ihre Folgen bei den feuchten porösen Körpern noch umgiebt. Wir gehen von dem einfachsten Falle bei unseren Betrachtungen aus und legen diesen nur diejenigen Erfahrungen zu Grunde, welche über die Fortführung im Capillarrohre und die Fortführung im engen Spalte zwischen Glaswandungen, der die Flüssigkeit zu beiden Seiten trennt, gemacht sind [s. o. Abschn. I. Kap. I. § 2 (2 u. 3)].

Vor Allem ist, wie man bei den festen Körpern harte und weiche Körper unterscheidet, so auch eine Scheidung der feuchten porösen Körper nothwendig in solche mit starrem (oder hartem) Gerüste und andere mit nicht starrem (oder weichem) Gerüste. Bei den ersteren ist der Verlust ihres flüssigen Inhaltes nie von einer Gestaltsveränderung der Körper begleitet und durchaus an die Bedingung des Lufteintrittes geknüpft, indem ihre Hohlräume, wie sie einmal gegeben sind, unverändert sich erhalten; bei den Körpern mit nicht starrem Gerüste hingegen verändert sich mit dem Flüssigkeitsverluste die Gestalt der Körper, die Wandungen der Hohlräume collabiren und das Volumen der Körper nimmt ab (die Körper

»schwinden«). Als Prototyp der ersteren Körper kann der gebrannte Thon gelten, dessen sich *Wiedemann* zu seinen Versuchen bediente; ein Beispiel der letzteren Körper liefert das von *du Bois-Reymond* untersuchte hartgesottene Hühnereiweiss, und auch der Nerv gehört diesen Körpern an.

Die Bedeutung dieser Scheidung tritt sofort hervor, wenn wir uns die Stromaustrittsgrundfläche eines prismatischen feuchten porösen Körpers von einer freien gleichartigen Flüssigkeit bespült, an die Stromeintrittsgrundfläche aber eine Metallplatte angelegt denken und den Lufteintritt von der letzteren Grundfläche ebenso wie von der freien Oberfläche des Körpers her verhindert annehmen. Bei dem Körper mit starrem Gerüste kann nunmehr eine Flüssigkeitsfortführung gar nicht statthaben: der Körper mit nicht starrem Gerüste hingegen wird in Folge der Flüssigkeitsfortführung, in der Richtung vom Stromeintrittsende nach dem Stromaustrittsende hin abnehmend, einen Verlust an Flüssigkeit und damit an Querschnitt erleiden. Der Widerstand des starren Körpers wird also unter der Einwirkung des Stromes nur durch die Erwärmung und die Elektrolyse beeinflusst sein, der Widerstand des nicht starren Körpers hingegen wird ausserdem noch durch die Gestaltsveränderung oder genauer durch die Veränderung des Flüssigkeitsgehaltes eine Zunahme erfahren.

Indem wir von diesem Falle aus weitergehen, halten wir folgende Bedingungen fest: der Körper, dessen Flüssigkeitsfortführung wir untersuchen, — er soll der Versuchskörper heissen — sei prismatisch und von Grundfläche zu Grundfläche linear durchströmt; seine Austrittsgrundfläche sei von freier gleichartiger Flüssigkeit bespült; der Lufteintritt in den Körper sei verhindert. Der Kürze halber wollen wir, wenn der Versuchskörper unter dem Einflusse des Stromes aus anderen Ursachen als in Folge der Erwärmung und der Elektrolyse Widerstandsveränderungen erfährt, diese Widerstandsveränderungen accessorische nennen.

Ist die Eintrittsgrundfläche des Versuchskörpers von freier gleichartiger Flüssigkeit bespült, so kann die Durchströmung die Constitution des Versuchskörpers, mag dessen Gerüst starr oder nicht starr sein, in keiner Weise verändern, und accessorische Widerstandsveränderungen können nicht auftreten. Anders, wenn die die Eintrittsgrundfläche bespülende freie Flüssigkeit ungleichartig ist: mannigfache Vorgänge und Veränderungen können dann statthaben.

Wir nehmen zuerst an, die die Eintrittsfläche bespülende Flüssigkeit und die Flüssigkeit des Versuchskörpers gehen keine chemische Verbindung ein und unterscheiden sich nur durch ihre Leitungsfähigkeit. Im Falle des starren Gerüstes wird alsdann genau soviel Flüssigkeit, als der Versuchskörper in Folge der Fortführung durch den Strom von seiner eigenen Flüssigkeit verliert, durch die auf der Stromeintrittsseite befindliche Flüssigkeit

ersetzt werden müssen. Der Widerstand des Versuchskörpers wird also eine accessorische Widerstandsveränderung durch Flüssigkeitsersatz erfahren, die in einer Zunahme oder Abnahme des Widerstandes bestehen wird, je nachdem die freie Flüssigkeit der Stromeintrittsseite schlechter oder besser leitet als die Flüssigkeit des Versuchskörpers, und die mit dem Unterschiede der Leitungsgüte beider Flüssigkeiten wachsen wird. Bei nicht starrem Gerüste aber wird, sobald nach der Schliessung des Kreises die freie Flüssigkeit der Stromeintrittsseite in das Stromeintrittsende des Versuchskörpers gelangt ist, diese Flüssigkeit hier, je nachdem sie schlechter oder besser leitet als die Flüssigkeit des Versuchskörpers, rascher oder langsamer als die letztere Flüssigkeit fortgeführt und dadurch im ersteren Falle eine Vermehrung, im letzteren Falle eine Verminderung des Flüssigkeitsgehaltes des Versuchskörpers in der Nähe seines Stromeintrittsendes herbeigeführt werden. Der Körper mit nicht starrem Gerüste wird also unter der Einwirkung des Stromes nahe seinem Stromeintrittsende anschwellen oder schrumpfen, und er wird zweierlei accessorische Widerstandsveränderungen erfahren: einmal durch Gestalts- oder Flüssigkeitsgehalts-Veränderung und zweitens durch Flüssigkeitsersatz. Die accessorischen Widerstandsveränderungen werden in einer Zunahme des Widerstandes durch Flüssigkeitsersatz und in einer Abnahme des Widerstandes durch Reicherwerden an Flüssigkeit bestehen, wenn die freie Flüssigkeit der Stromeintrittsseite schlechter leitet als die Flüssigkeit des Versuchskörpers, in einer Abnahme des Widerstandes durch Flüssigkeitsersatz hingegen und in einer Zunahme des Widerstandes durch Verarmung an Flüssigkeit, wenn die Leitungsfähigkeiten jener beiden Flüssigkeiten umgekehrt sich verhalten; und mit dem Unterschiede der Leitungsgüte beider Flüssigkeiten wird jede accessorische Zunahme sowohl als Abnahme des Widerstandes wachsen.

Unterscheiden sich die beiden Flüssigkeiten ausser durch ihre Leitungsfähigkeit noch wesentlich durch ihre Molecularanziehung gegen die Gerüstwandungen des Versuchskörpers, so wird im Allgemeinen das Vordringen der freien Flüssigkeit der Stromeintrittsseite, wenn die Adhäsion dieser Flüssigkeit grösser ist, beschleunigt, und, wenn sie kleiner ist, verzögert sein. Bei starrem Gerüste werden also einfach dem entsprechend der Flüssigkeitsersatz und die accessorische Widerstandsveränderung gegen vorhin vergrössert oder verkleinert sein. Ebenso wird bei nicht starrem Gerüste der Flüssigkeitsersatz mehr oder weniger ausgedehnt als vorhin sein. Hier wird aber ausserdem die Verminderung des Flüssigkeitsgehaltes in der Nähe des Stromeintrittsendes gegen vorhin verringert sein, wenn die Adhäsion der besser leitenden freien Flüssigkeit grösser ist, und vergrössert sein, wenn dieselbe Adhäsion kleiner ist; und die Vermehrung des Flüssigkeitsgehaltes in der Nähe des Stromeintrittsendes wird gegen

vorhin verringert sein, sowohl wenn die Adhäsion der schlechter leitenden freien Flüssigkeit grösser, wie wenn sie kleiner ist als die Adhäsion der Flüssigkeit des Versuchskörpers. Es wird daher bei sehr viel grösserer Adhäsion der freien Flüssigkeit trotz deren grösserer Leitungsfähigkeit gar keine Verminderung — und umgekehrt bei sehr viel geringerer Adhäsion der freien Flüssigkeit trotz deren geringerer Leitungsfähigkeit sogar eine Verminderung des Flüssigkeitsgehaltes nahe dem Stromeintrittsende des Versuchskörpers erfolgen können.

Beachtung verdient noch für die vorbehandelten Fälle, wenn nicht die beiden Flüssigkeiten indifferent wie Wasser und Oel sich verhalten, die Hydrodiffusion. Sie wird die scharfe Grenze der beiden Flüssigkeiten verwischen und zwischen ihnen gewissermassen eine mittlere Flüssigkeit herstellen, deren Ausdehnung mit der Stromdauer wachsen wird und deren Leitungsfähigkeit und Adhäsion einen allmählichen Uebergang von dem einen zum anderen Extreme bilden werden. Im Falle des nicht starren Gerüstes wird dies die bemerkenswerthe Folge haben, dass die Verminderung resp. Vermehrung des Flüssigkeitsgehaltes nahe dem Stromeintrittsende in dem einzelnen Querschnitte des Versuchskörpers desto unbedeutender und dafür über eine desto grössere Anzahl von Querschnitten ausgedehnt sein wird, je rascher die Mischung der beiden Flüssigkeiten vor sich geht. Wenn der specifische Widerstand des Gerüstes des Versuchskörpers sehr gross ist, wird also unter sonst gleichen Umständen die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung um so kleiner und die Widerstandsabnahme in Folge des Reicherwerdens an Flüssigkeit um so grösser sein[1], je rascher beide Flüssigkeiten sich mischen.

Gehen die beiden Flüssigkeiten eine chemische Verbindung zu einer neuen Flüssigkeit ein, so werden alle Veränderungen des Versuchskörpers im Princip dieselben sein wie bei zwei leicht sich mischenden Flüssigkeiten; und es werden im Speciellen die Leitungsfähigkeit, die Adhäsion und die Diffusion der neuen Flüssigkeit in nunmehr selbstverständlicher Weise von Bedeutung sein. Entsteht aber bei der chemischen Verbindung der beiden Flüssigkeiten ein Niederschlag, so erhalten wir durch die Anfüllung der Hohlräume am Stromeintrittsende des Körpers gewissermassen einen neuen porösen Körper, und dessen Ausdehnung wird mit der Stromdauer in der Richtung des Stromes wachsen, weil die in den Lücken des Niederschlages fortgeführte freie Flüssigkeit der Stromeintrittsseite immer weiter vom Stromeintrittsende entfernt zu neuem Niederschlage Anlass sein wird. Die fortgeführte Flüssigkeit des Versuchskörpers wird also in diesem Falle bei starrem wie bei nicht starrem Gerüste ersetzt zugleich

1) Für die zu Grunde liegenden Ueberlegungen vgl. oben S. 109—110.

durch den Niederschlag und durch die freie Flüssigkeit der Stromeintrittsseite: und dadurch wird bei grossem specifischen Widerstande des Gerüstes, selbst wenn die ersetzende Flüssigkeit viel besser leitet, in Folge der beträchtlichen Querschnittsabnahme der Flüssigkeit im Versuchskörper[1], eine accessorische Widerstandszunahme des Versuchskörpers bedingt sein. Bei nicht starrem Gerüste wird ausserdem, wenn die freie Flüssigkeit der Stromeintrittsseite besser leitet als die Flüssigkeit des Versuchskörpers, dieser Körper noch eine Verminderung seines Flüssigkeitsgehaltes nahe seinem Stromeintrittsende und damit eine zweite accessorische Widerstandszunahme erfahren können.

Dient statt einer freien Flüssigkeit als Zuleiter des Stromes ein feuchter poröser Körper, welcher der Stromeintrittsgrundfläche des Versuchskörpers in ihrer ganzen Ausdehnung anliegt, so kommt es darauf an, ob vom Stromaustrittsende des Zuleiters her durch die Flüssigkeitsfortführung in der Zeiteinheit immer ebensoviel oder mehr Flüssigkeit nach dem Stromeintrittsende des Versuchskörpers hinübergeschafft werden kann, als das Letztere in der Zeiteinheit Flüssigkeit verliert. Wenn dies der Fall ist, werden die Fortführung im Versuchskörper und dessen Widerstandsveränderung bei starrem wie bei nicht starrem Gerüste dieselben sein, wie wenn die Stromeintrittsgrundfläche des Versuchskörpers von derjenigen Flüssigkeit frei bespült wäre, welche vom Gerüste des Zuleiters eingeschlossen ist[2]. Anders aber, wenn die im Stromeintrittsende des Versuchskörpers fortgeführte Flüssigkeitsmenge durch die in der gleichen Zeit vom Stromaustrittsende des Zuleiters her übergeführte Flüssigkeitsmenge nur unvollkommen ersetzt wird. Bei starrem Gerüste wird alsdann, dem Falle freier Flüssigkeit auf der Stromeintrittsseite gegenüber, der Fortführungsvorgang im Versuchskörper ohne sonstige wesentliche Veränderung im Ganzen verzögert und demgemäss, wo die Flüssigkeit des Zuleiters ungleichartig ist, die accessorische Widerstandsveränderung des Versuchskörpers durch Flüssigkeitsersatz verringert sein. Bei nicht starrem Gerüste wird, wenn die Flüssigkeit des Versuchskörpers und des Zuleiters gleichartig sind, eine Verminderung des Flüssigkeitsgehaltes des Versuchskörpers erfolgen, welche unmittelbar am Stromeintrittsende am grössten sein und nach dem Stromaustrittsende des Körpers hin abnehmen wird; hier wird also, im Gegensatze zu dem entsprechenden Falle freier Flüssigkeit auf der Stromeintrittsseite, der Versuchskörper vom Stromein- nach dem Stromaustrittsende hin abnehmend schrumpfen, und sein Widerstand wird in

1) Vgl. wiederum oben S. 109—110.

2) Die Anschwellung, welche unter Umständen unmittelbar an der Stromeintrittsfläche des Versuchskörpers sich wird bilden können, ist wegen ihrer minimalen Ausdehnung in der Länge des Körpers zu vernachlässigen.

Folge der Verarmung an Flüssigkeit zunehmen. Eben diese Verarmung wird dann auch, wenn die Flüssigkeiten des Versuchskörpers und des Zuleiters ungleichartig sind, zu denjenigen Veränderungen, welche am Versuchskörper die entsprechende freie Flüssigkeit auf der Stromeintrittsseite bedingt haben würde, hinzutreten; es wird demgemäss nunmehr die Flüssigkeitsgehalts-Zunahme nahe dem Stromeintrittsende geringer resp. die Flüssigkeitsgehalts-Abnahme ebenda grösser, als im Falle der entsprechenden freien Flüssigkeit auf der Stromeintrittsseite, sein. Durch die unzureichende Zufuhr vom Zuleiter her werden also die accessorischen Widerstandsveränderungen des Versuchskörpers unter allen Umständen einen positiven Zuwachs erfahren gegenüber dem Falle, dass die betreffende ungleichartige Flüssigkeit die Stromeintrittsgrundfläche des Versuchskörpers frei bespült hätte. Es wird aber die Zufuhr vom Zuleiter her bei gleichem Bau der Gerüste des Versuchskörpers einerseits und des Zuleiters andererseits unzureichend sein, sobald die Flüssigkeit des Zuleiters besser leitet als die Flüssigkeit des Versuchskörpers; und überhaupt wird bei jedem Bau des Zuleiter-Gerüstes jene Zufuhr abnehmen mit dem Wachsen der Leitungsfähigkeit der Zuleiter-Flüssigkeit.

Von den Bedingungen, welche wir so weit bei unseren Ueberlegungen festgehalten haben (s. o. S. 423.), wollen wir jetzt noch die eine aufgeben, dass die Stromaustrittsgrundfläche des Versuchskörpers stets von freier gleichartiger Flüssigkeit bespült sei, und die Folgen anders gearteter Ableitung des Stromes untersuchen.

Ist die Stromaustrittsgrundfläche des Versuchskörpers von einer freien Flüssigkeit bespült, welche der Flüssigkeit des Versuchskörpers ungleichartig ist, so kommt, wenn die beiden Flüssigkeiten keine chemische Verbindung eingehen, höchstens die Diffusion und erst mittelbar durch diese dann auch die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten in Betracht. Allerdings wirkt hier die Flüssigkeitsfortführung dem nach der Flüssigkeit des Versuchskörpers gerichteten Diffusionsstrome entgegen: allein es wird doch der Eintritt der Aussenflüssigkeit in den Versuchskörper bei einer gegebenen Geschwindigkeit der Flüssigkeitsfortführung nur bis zu einer gewissen Geschwindigkeit des nach innen gerichteten Diffusionsstromes verhindert sein und, sobald die letztere Geschwindigkeit grösser ist, in Wirklichkeit doch statthaben. Wenn also die freie Flüssigkeit auf der Stromaustrittsseite und die Flüssigkeit des Versuchskörpers rasch sich mischen, wird bei starrem wie bei nicht starrem Gerüste im Stromaustrittsende des Versuchskörpers Flüssigkeit desselben durch die besser resp. schlechter leitende freie Flüssigkeit der Stromaustrittsseite ersetzt werden können. Bei nicht starrem Gerüste wird aber dadurch weiter, wenn die ersetzende Flüssigkeit besser leitet als die Flüssigkeit des Versuchskörpers,

in Folge der rascheren Fortführung der letzteren Flüssigkeit eine Vermehrung des Flüssigkeitsgehaltes des Versuchskörpers in der Nähe des Stromaustrittsendes bedingt sein; zu einer Verminderung des Flüssigkeitsgehaltes in der Nähe des Stromaustrittsendes wird es, wenn die ersetzende Flüssigkeit schlechter leitet, entweder gar nicht oder, weil die Verminderung sehr bald nach dem Beginne der Durchströmung ein niederes Maximum erreichen muss, doch nur in so geringem Grade kommen, dass sie sich vernachlässigen lässt. Mischen sich die ungleichartigen Flüssigkeiten rasch und leitet die freie Flüssigkeit der Stromaustrittsseite besser als die Flüssigkeit des Versuchskörpers, so wird also der Versuchskörper in der Nähe des Stromaustrittsendes anschwellen, und sein Widerstand wird eine zwiefache accessorische Abnahme erfahren, erstens durch den Flüssigkeitsersatz und zweitens durch das Reicherwerden an Flüssigkeit in der Nähe des Stromaustrittsendes; leitet hingegen die freie Flüssigkeit der Stromaustrittsseite schlechter, so wird der Versuchskörper nahe seinem Stromaustrittsende in nicht beachtenswerther Weise schrumpfen, und sein Widerstand wird eine accessorische Zunahme durch Flüssigkeitsersatz erfahren. Alle diese Veränderungen werden alsdann zu denjenigen Veränderungen hinzutreten, welche der Versuchskörper bei gleichartiger freier Flüssigkeit auf der Stromaustrittsseite erfahren hätte, ohne die letzteren Veränderungen selbst zu modificiren; denn wir nehmen unseren Versuchskörper hier überall von solcher Länge an, dass die besonderen Vorgänge am Stromein- und am Stromaustrittsende räumlich nicht collidiren. Befindet sich eine und dieselbe ungleichartige Flüssigkeit an beiden Grundflächen des Versuchskörpers, so werden natürlich der Flüssigkeitsersatz und die Widerstandsveränderung in Folge desselben am Stromeintrittsende beträchtlicher sein als am Stromaustrittsende.

Verbinden sich die beiden Flüssigkeiten chemisch zu einer neuen Flüssigkeit, so werden die Folgen der ungleichartigen freien Flüssigkeit am Stromaustrittsende im Princip dieselben sein, wie wenn die beiden Flüssigkeiten rasch sich mischten. Entsteht bei der chemischen Verbindung der beiden Flüssigkeiten ein Niederschlag, so wird der Niederschlag hier höchstens das äusserste Stromaustrittsende des Versuchskörpers erfüllen und nicht weiter im Versuchskörper sich ausbreiten können, und es wird mit dem Niederschlage eine accessorische Widerstandszunahme des Versuchskörpers verbunden sein; für die weiteren Folgen des Niederschlages hinsichts der Fortführung wie des Widerstandes stossen wir aber auf mehrfache Verwickelungen, welche zu durchdringen für uns nicht lohnend ist.

Liegt der Stromaustrittsgrundfläche des Versuchskörpers in ihrer ganzen Ausdehnung ein feuchter poröser Körper an, so ist es von der wesentlichsten Bedeutung, ob das Stromeintrittsende des Ableiters durch die

Flüssigkeitsfortführung in der Zeiteinheit immer soviel oder mehr Flüssigkeit verliert, als vom Stromaustrittsende des Versuchskörpers her in der Zeiteinheit an Flüssigkeit hinübergeschafft werden kann. Wenn dies der Fall ist, wird Alles ebenso sein, wie wenn die Stromaustrittsgrundfläche des Versuchskörpers von derjenigen Flüssigkeit frei bespült wäre, welche vom Gerüste des Ableiters eingeschlossen ist. Ist die Flüssigkeitsabfuhr vom Stromeintrittsende des Ableiters aber unzureichend, so wird bei starrem Gerüste, dem Falle freier Flüssigkeit auf der Stromaustrittsseite gegenüber, der Fortführungsvorgang im Versuchskörper ohne sonstige wesentliche Veränderung im Ganzen verzögert und demgemäss, wo die Flüssigkeit des Ableiters ungleichartig ist und mit der Flüssigkeit des Versuchskörpers rasch sich mischt, die accessorische Widerstandsveränderung des Versuchskörpers durch Flüssigkeitsersatz vergrössert sein. Bei nicht starrem Gerüste wird in demselben Falle, wenn die Flüssigkeiten des Versuchskörpers und des Ableiters gleichartig sind, eine Vermehrung des Flüssigkeitsgehaltes des Versuchskörpers erfolgen, welche unmittelbar am Stromaustrittsende am grössten sein und nach dem Stromeintrittsende des Versuchskörpers hin abnehmen wird; hier wird also, im Gegensatze zu dem entsprechenden Falle freier Flüssigkeit auf der Stromaustrittsseite, der Versuchskörper von dem Stromaus- nach dem Stromeintrittsende hin abnehmend anschwellen, und sein Widerstand wird in Folge des Reicherwerdens an Flüssigkeit abnehmen. Eben dieses Reicherwerden wird dann auch, wenn die Flüssigkeiten des Versuchskörpers und des Ableiters ungleichartig sind, zu den Veränderungen, welche bei der entsprechenden freien Flüssigkeit auf der Stromaustrittsseite sich etwa finden würden, hinzutreten. Durch die unzureichende Abfuhr vom Stromeintrittsende des Ableiters werden also die accessorischen Widerstandsveränderungen des Versuchskörpers unter allen Umständen einen negativen Zuwachs erfahren gegenüber dem Falle, dass die betreffende ungleichartige Flüssigkeit die Stromaustrittsgrundfläche des Versuchskörpers frei bespült hätte. Es wird aber die Abfuhr vom Stromeintrittsende des Ableiters bei gleichem Bau der Gerüste des Versuchskörpers einerseits und des Ableiters andererseits unzureichend sein, sobald die Flüssigkeit des Ableiters besser leitet als die des Versuchskörpers; und überhaupt wird bei jedem Bau des Ableiter-Gerüstes jene Abfuhr abnehmen mit dem Wachsen der Leitungsfähigkeit der Ableiter-Flüssigkeit.

(2.) Thatsächliche Bewährung der Ergebnisse der Anschauung in (1).

Das ist es, was die Anschauung für die lineare Durchströmung eines feuchten porösen Körpers ergiebt, wenn, wie es fortan immer stillschweigend vorausgesetzt ist, der Lufteintritt in den Körper verhindert ist: und dabei wollen wir zunächst stehen bleiben. Freilich sind nicht alle Möglich-

keiten bedacht und die bedachten nicht immer auf das Genaueste verfolgt. Allein wenn wir von der etwaigen Veränderung des Gerüstes selbst des Versuchskörpers durch die ersetzende Flüssigkeit — einer Veränderung, deren Folgen nur im speciellen Falle unter genauer Erwägung der Art der Gerüstveränderung sich würden ermessen lassen — absehen, ist doch alles Wesentliche im Vorstehenden abgehandelt.

Gehen wir daher unserem Plane gemäss daran, die Ergebnisse der Anschauung mit den Ergebnissen des Versuches zu vergleichen, so versteht es sich von vornherein, dass wir eine genaue Bewährung der ersteren durch die letzteren nicht zu erwarten haben. Denn einmal sind der Bau des Gerüstes des Versuchskörpers sowohl wie des porösen Zu- oder Ableiters, wo ein solcher vorhanden ist, und in den meisten Fällen auch die Beschaffenheit der Flüssigkeit des Versuchskörpers uns gar nicht oder nur sehr unzureichend bekannt; zweitens wissen wir über die Leitungsfähigkeit, die Adhäsion, die Diffusion und die chemischen Beziehungen der in Betracht kommenden Flüssigkeiten in der Regel nur sehr wenig und dazu nur sehr Oberflächliches auszusagen; ferner entziehen sich die Gestaltsveränderungen des Versuchskörpers ihrer geringen Grösse wegen entweder ganz der Beobachtung oder lassen sich jedenfalls nur unvollkommen constatiren; endlich ist auch die Widerstandsveränderung, welche wir durch den Versuch ermitteln, in den allermeisten Fällen nur die algebraische Summe mehrerer, verschiedenen Ursachen entsprungener und verschiedenen Theilen des Versuchskörpers angehöriger Widerstandsveränderungen, welche einzeln uns nicht zugänglich sind. Aller dieser Misslichkeiten wegen werden wir offenbar sehr zufrieden damit sein müssen, wenn es uns gelingt, das durch die Ueberlegung Gewonnene in den Hauptzügen in den Versuchsergebnissen wiederzuerkennen.

(a. Bewährung am Nerven.)

Von unseren Untersuchungen finden wir zuerst hierhergehörig einen Theil der Versuche des § 2. des Kap. IV., diejenigen dortigen Versuche nämlich, bei welchen *cd* in der Mitte oder nahe der Mitte von *ab* gelegen war. Denn alle jene Versuche, welche wir zur Prüfung der Widerstandsveränderungen der nicht unmittelbar an den Zuleitungsröhren gelegenen Stellen der intrapolaren Nervenstrecke *ab* unternommen haben, lassen sich auch so auffassen, als seien die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke *cd* unter dem Einflusse des Stromes von K_1 geprüft worden bei Zu- und Ableitung dieses Stromes durch den Nerven — durch die Nervenstrecken *ac* und *bd* —; und die Durchströmung von *cd* war nach § 1. eine lineare oder wenigstens eine von der linearen nicht der Rede werth abweichende, wenn *cd* in der Mitte oder nahe der Mitte von *ab* sich befand.

Es hat sich dabei keine Gestaltsveränderung und nur eine geringe Abnahme des Widerstandes von *cd* unter der Einwirkung des Stromes ergeben, eine Widerstandsabnahme also, wie sie die Folge der Erwärmung und der chemischen Veränderungen durch den Strom allein sein musste, ohne dass accessorische Zu- oder Abnahmen des Widerstandes auftraten. Und gerade dies war auch nach (1) zu erwarten für den Fall, dass die Zu- und Ableitung durch das gleiche und mit der gleichen Flüssigkeit erfüllte Gerüst erfolgte.

Ferner gehören hierher die Versuche des § 1. des Kap. V. und die Versuche des § 2. desselben Kapitels, die letzteren so weit, als die Querschnittfläche des Nerven Stromeintrittsstelle gewesen ist. Zwar erfüllen alle diese Versuche nicht streng die augenblicklich geforderten Bedingungen, indem der Nerv der negativen Zuleitungsröhre nicht mit einer Querschnittfläche anlag, sondern mit einer mittleren Stelle aufgelagert war. Allein diese Abweichung sind wir zu eliminiren im Stande. Die Versuche des § 1. des Kap. IV., bei welchen der Strom von K_1 bei *a* eintrat und *bc* etwa $= 1/_3$ *ab* war, lassen sich nämlich auch so auffassen, als seien die Widerstandsveränderungen der intrapolaren Nervenstrecke *bc* unter dem Einflusse des Stromes von K_1 geprüft worden bei Zuleitung durch den Nerven *ab* und Ableitung durch die Thonspitze z_1, und unterscheiden sich dann von den zuerst angezogenen Versuchen des § 2. des Kap. IV., bei welchen *cd* in der Mitte von *ab* sich befand und ebenfalls etwa $= 1/_3$ *ab* war, nur durch die Ableitung des Stromes. Indem nun bei den ersteren Versuchen eine etwas grössere Abnahme des Widerstandes unter dem Einflusse des Stromes sich gezeigt hat als bei den letzteren Versuchen, wissen wir, dass, wenn der Strom durch die Thonspitze einer Zuleitungsröhre von einer mittleren Stelle des Nerven abgeleitet ist, die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes bei sonst gleichen Umständen etwas grösser ist, als wenn das gleiche und mit der gleichen Flüssigkeit erfüllte Gerüst der Austritts-Querschnittfläche des Nerven anliegt oder, was nach (1) und der obigen Bewährung gleichbedeutend ist, die gleichartige freie Flüssigkeit die Austritts-Querschnittfläche des Nerven bespült. Um bei den Versuchen, welche wir jetzt zu betrachten vorhaben, von der Abweichung in der Ableitung des Stromes absehen und annehmen zu können, dass die Austritts-Querschnittfläche des Nerven von der gleichartigen freien Flüssigkeit bespült gewesen sei, brauchen wir also nur von den in den Versuchen beobachteten Widerstandsveränderungen eine Abnahme des Widerstandes in Abzug zu bringen, welche, weil die Abweichung bei allen Versuchen dieselbe und die wenig variirende Stromintensität der Versuche den Versuchen des Kap. IV. gegenüber nur gering ist, überall von fast gleicher und zwar geringer Grösse wird sein müssen.

Die Schwierigkeit, welche uns sogleich noch der Umstand bereitet, dass wir über den Bau des Zuleitergerüstes in Beziehung zum Bau des Nervengerüstes Nichts auszusagen wissen, beseitigen wir vor der Hand einfach durch die Annahme, dass die Zufuhr vom Zuleiter her unter allen Umständen zureichend gewesen ist: so dass wir diejenige Flüssigkeit, mit welcher der Thon der positiven Zuleitungsröhre getränkt war, die Eintritts-Querschnittfläche des Nerven frei bespülend setzen können.

Die 1%ige Kochsalzlösung steht dann hinsichts der Leitungsfähigkeit der Nervenflüssigkeit sehr nahe; und dem entspricht die mässige Widerstandsabnahme, welche wir bei ihr gefunden haben und welche von derjenigen, die bei der Zuleitung durch den Nerven nach Art der Versuche des § 1. des Kap. IV. erfolgt, jedenfalls nur unwesentlich abweicht. Mit der Concentration der Kochsalzlösungen nimmt deren Leitungsfähigkeit zu, und es müssen zugleich die Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Verarmung und die Widerstandsabnahme der Nervenstrecke in Folge des Flüssigkeitsersatzes wachsen: in Uebereinstimmung damit erhält sich die zur Beobachtung kommende Widerstandsabnahme bei allen Concentrationen in etwa derselben Grösse wie bei der 1%igen Kochsalzlösung. Bei der kohlensauren Kalilösung und der Glaubersalzlösung ist die Widerstandsabnahme etwa die gleiche wie bei der concentrirten Kochsalzlösung: allen drei Flüssigkeiten kommt auch ohngefähr gleiche Leitungsfähigkeit zu. Die Salmiaklösung leitet besser als die concentrirte Kochsalzlösung; aber daher allein rührt die beträchtlichere Widerstandsabnahme bei ihr nicht, sondern auch von dem rascheren Eindringen der Salmiaklösung in den Nerven, sei es dass ihre Diffusion rascher erfolgt, sei es dass ihre Adhäsion grösser ist als die der anderen Lösungen. Das rasche Eindringen der Salmiaklösung ist durch das Anschwellen des Stromeintrittsendes, die beträchtliche Verarmung bei der Salmiaklösung und der concentrirten Kochsalzlösung durch die Schrumpfung der Stromeintrittsgegend zweifellos.

Das Brunnenwasser und die Alkoholgemische No. 3. und 2. leiten zunehmend schlechter als die Nervenflüssigkeit, und dem entsprechen wiederum die beobachteten Widerstandsveränderungen: so lange etwa, als nach der Schliessung der Kette der Widerstand in Folge der Erwärmung abnimmt, ist die Widerstandszunahme in Folge des Flüssigkeitsersatzes durch die verschiedenen Widerstandsabnahmen übercompensirt; später aber überwindet sie selbst die Widerstandsabnahme in Folge der chemischen Veränderungen durch den Strom und die Widerstandsabnahme in Folge des Reicherwerdens an Flüssigkeit, welche beide nur von geringerer Grösse sind. Das Reicherwerden an Flüssigkeit ist durch die manchmal wahrnehmbare Anschwellung des Stromeintrittsendes dargethan.

Von der Schwefelsäure, der Gerbsäure, der Kupfervitriollösung, der

Sublimatlösung und dem Alkoholgemische Nr. 1., von welchen es bekannt ist, dass sie flüssiges Eiweiss fällen, kann nach den wahrgenommenen Veränderungen des Nerven kein Zweifel sein, dass sie einen Niederschlag in der Nervenflüssigkeit erzeugen: und ganz nach der Voraussicht in (1) finden wir die Widerstandsveränderungen bei diesen Flüssigkeiten; der frühere Beginn der Widerstandszunahme bei dem Alkoholgemische Nr. 1. und der Gerbsäure ist wohl aus der hier geringeren Leitungsfähigkeit der in den Poren des Niederschlages enthaltenen Flüssigkeit den anderen in Rede stehenden Flüssigkeiten gegenüber erklärlich. Bei der Gerbsäure hat allerdings die Trübung der Stromeintrittsgegend sich nicht gezeigt; doch darf die Unerregbarkeit des Nerven oberhalb der von der Gerbsäure betroffenen Stelle für sich allein als Beweis der Gerinnung hier gelten.

Die Quellung des Nerven bei der Essigsäure zwingt, auf eine Veränderung des Nervengerüstes durch diese Flüssigkeit zu schliessen: und damit fallen die Widerstandsveränderungen bei der Essigsäure aus dem Kreise der hier der Vergleichung unterliegenden heraus. Hinsichts der Ursache der beobachteten Widerstandszunahme sind mehrere Möglichkeiten denkbar; die meiste Wahrscheinlichkeit hat wohl für sich, dass die mit Flüssigkeit erfüllten Hohlräume des Nervengerüstes an Ausdehnung verlieren.

Bei der concentrirten Zinkvitriollösung beweisen der Mangel der Trübung in der Stromeintrittsgegend und noch mehr die Fortdauer der Erregbarkeit an und oberhalb der Stromeintrittsgegend unbedingt, dass ein Niederschlag in der Nervenflüssigkeit nicht entsteht; und die Abweichung in dem Verhalten des Nerven bei der Zinkvitriollösung und bei der ihr so nahe stehenden Kupfervitriollösung ist nur erklärlich, wenn die Zinkvitriollösung gar nicht oder doch nur in grosser Verdünnung in den Nerven einzudringen vermag. In der That thun dies denn auch die Gestaltsveränderungen des Nerven bei der concentrirten Zinkvitriollösung dar, welche nicht anders sind, als wenn eine Metallplatte der Eintritts-Querschnittfläche des Nerven angelegen hätte: und durchaus dem entsprechend sind die Widerstandsveränderungen der Nervenstrecke. Höchstwahrscheinlich kommt der concentrirten Zinkvitriollösung eine nur sehr geringe Adhäsion zu den Wandungen des Nervengerüstes zu. Noch die verdünnten Zinkvitriollösungen zeigen die Eigenthümlichkeit der concentrirten Lösung, doch mit zunehmender Verdünnung in immer niedererem Grade.

Wir finden also bei allen Flüssigkeiten die Ergebnisse des Versuches mit den Ergebnissen der Ueberlegung in (1) in guter Uebereinstimmung. Höchstens bei der Chlorcalciumlösung, welche etwa ebenso wie die Glaubersalzlösung leitet, bietet sich uns kein zuverlässiger Anhaltspunkt dar für die Erklärung, weshalb bei ihr die Widerstandsveränderungen doch

von denen bei der Glaubersalzlösung etwas abweichen; offenbar kann aber in den uns unbekannten Adhäsions- und Diffusions-Verschiedenheiten ein mehr als ausreichender Grund für die Verschiedenheit der Widerstands-veränderungen gegeben sein.

Es bleibt uns daher nur noch auf unsere Annahme zurückzukommen, dass die Zufuhr vom Zuleiter her immer zureichend war. Diese Annahme ist jetzt streng als richtig zu erweisen dadurch, dass bei den am besten leitenden concentrirten Alkalisalzlösungen, bei welchen die Zufuhr am ehesten hätte unzureichend sein müssen, nie eine Verjüngung des Nerven nach der Eintritts-Querschnittfläche hin zur Beobachtung gekommen ist. Und dass eine solche Verjüngung nicht etwa blos unserer Wahrnehmung sich entzogen hat, dafür lassen sich nicht nur unsere betreffenden Ermittelungen bei der Zinkvitriollösung, der Kupfervitriollösung, der Sublimatlösung u. s. w. geltend machen, sondern wird auch auf das Schlagendste dadurch bewiesen, dass bei der Salmiaklösung sogar im Gegentheil gerade eine Anschwellung des Nerven an der Stromeintritts-Querschnittfläche sich gezeigt hat.

(b. Bewährung an anderen feuchten porösen Körpern. Vom sogenannten äusseren secundären Widerstande.)

Ausser unseren eigenen Untersuchungen bieten dann noch Material für die Vergleichung, in welcher wir uns befinden, Untersuchungen *E. du Bois-Reymond's*.

Wie ein Rückblick auf (1) lehrt, hat dort sich herausgestellt, dass, wenn bei starrem Gerüste eine Metallplatte einer Grundfläche des feuchten porösen Körpers anliegt, eine Fortführung der Flüssigkeit im Körper gar nicht statthat; dass ferner nur dann, wenn die gleichartige Flüssigkeit frei beide Grundflächen bespült oder wenn mit gleichartigen oder ungleichartigen Flüssigkeiten erfüllte poröse Gerüste von einem gewissen, bestimmte Bedingungen erfüllenden Bau den Strom zu- und abführen, der Widerstand des Körpers unter dem Einflusse des Stromes trotz der Flüssigkeitsfortführung ausschliesslich in Folge der Erwärmung und der Elektrolyse sich verändert; dass aber in allen anderen Fällen neben den Widerstandsveränderungen des Körpers in Folge der Erwärmung und der Elektrolyse noch accessorische Widerstandsveränderungen in Folge der Flüssigkeitsfortführung statthaben. Diese accessorischen Widerstandsveränderungen können sowohl in einer Zunahme wie in einer Abnahme des Widerstandes bestehen und sind bei den Körpern mit starrem Gerüste einzig und allein durch den anderweitigen Ersatz eines mehr oder weniger grossen Theiles der die Hohlräume des Körpers ursprünglich erfüllenden Flüssigkeit, bei den Kör-

pern mit nicht starrem Gerüste ausserdem noch durch die Veränderung des Flüssigkeitsgehaltes des Körpers unmittelbar bedingt.

Man wird es nun nur natürlich finden, dass bei den zu anderen Zwecken unternommenen Versuchen an feuchten porösen Körpern die accessorischen Widerstandsveränderungen zuerst da aufgefallen sind, wo die algebraische Summe aller neben einander erfolgenden accessorischen Widerstandsveränderungen eines Körpers eine grosse Zunahme des Widerstandes ergab. Denn die Abnahme des Widerstandes des feuchten porösen Körpers unter der Einwirkung des Stromes liess sich einfach der Erwärmung zuschreiben, und schon nicht die Erwärmung, geschweige erst die Widerstandsabnahme in Folge derselben liess sich ihrer Grösse nach auch nur annähernd so schätzen, dass die das eine Mal grössere, das andere Mal kleinere Widerstandsabnahme des Versuchskörpers die Aufmerksamkeit hätte fesseln können: wo aber statt der der Erwärmung wegen erwarteten Abnahme in Wirklichkeit eine Zunahme des Widerstandes auftrat, konnte die Eigenthümlichkeit, welche vorlag, nicht entgehen. So ist denn auch *du Bois-Reymond* auf den von ihm so genannten secundären Widerstand und die Untersuchungen desselben, welche wir ihm verdanken[1], geführt worden.

Für uns hat es jetzt aber auch keine Schwierigkeit mehr, einzusehen, woran hauptsächlich die theoretischen Bemühungen *du Bois-Reymond's*, welche den äusseren secundären Widerstand — denn nur um diesen handelt es sich zunächst immer — betrafen, gescheitert sind. Einmal ist die durch den Strom herbeigeführte Widerstandsveränderung des feuchten porösen Körpers nach Abzug der Folgen der Erwärmung (und der Elektrolyse) nur in einer Reihe von Fällen eine Zunahme, in einer anderen Reihe von Fällen aber eine Abnahme des Widerstandes: und die Theorie hätte daher mindestens ebensogut einen negativen wie einen positiven äusseren secundären Widerstand kennen müssen. Zweitens ist eben diese Widerstandsveränderung allermeist die algebraische Summe mehrerer und zwar verschiedenen unmittelbaren Ursachen entsprungener Widerstandsveränderungen, solcher durch Flüssigkeitsersatz und anderer durch Veränderung des Flüssigkeitsgehaltes: und wenn auch *du Bois-Reymond* am Eingange seiner theoretischen Erörterungen ausdrücklich sagt, »man sollte meinen, das mit der besserleitenden Kupferlösung durchdrungene Eintrittsende, und somit der ganze feuchte poröse Körper, müsse an Widerstand verlieren«[2], so hat er doch weiterhin, nachdem er auf die

1) S. o. S. 8—12.

2) *E. du Bois-Reymond*. Ueber den secundären Widerstand u. s. w. A. a. O. S. 884*.

verschieden schnelle Fortführung der verschieden leitungsfähigen Flüssigkeiten gekommen ist, den Flüssigkeitsersatz in Rechnung zu bringen ganz unterlassen.

An einer früheren Stelle unserer Untersuchungen hätte die Frage sich erheben lassen, weshalb wir nicht von vornherein an die Untersuchungen *du Bois-Reymond's* über den secundären Widerstand eng uns angeschlossen, in den §§ 1. und 3. des Kap. II. von dem äusseren secundären Widerstande des Nerven, in den folgenden §§ von der Zerstreuung dieses Widerstandes u. s. f. gesprochen haben. Jetzt ist es fast überflüssig, die Frage noch besonders zu beantworten. Der äussere secundäre Widerstand ist die algebraische Summe der accessorischen Widerstandsveränderungen des feuchten porösen Körpers ausschliesslich in dem Falle, dass die Summe positiv ist, und mögen im Uebrigen die Vorzeichen der Summanden sein welche sie wollen; und die Gesammtheit der Erscheinungen des äusseren secundären Widerstandes ist nichts Anderes als eine durch ein gewissermassen nur zufälliges und oberflächliches Band verknüpfte Anzahl von Erscheinungen, herausgegriffen aus der Gesammtheit der Erscheinungen, welche die accessorischen Widerstandsveränderungen darbieten. Wenn es daher auch gerechtfertigt gewesen ist, jener positiven Summe, wo sie zuerst der Untersuchung unterlag, eine besondere Bezeichnung beizulegen, so kann doch, nachdem ein tieferes Verständniss der accessorischen Widerstandsveränderungen gewonnen ist, von der Beibehaltung dieser Bezeichnung keine Rede mehr sein. Wir selbst aber haben, um dies sogleich vorwegzunehmen, oben selbst vorläufig vom äusseren secundären Widerstande nicht sprechen dürfen, nicht nur der Einfachheit und Klarheit der Darlegung halber, nicht nur, weil die Analyse der Erscheinungen schwieriger und weniger durchsichtig gewesen wäre, sondern vornehmlich auch deshalb, weil ganz im Gegensatze zu dem, was zunächst wohl der Anschein war, unsere Erfahrungen in den Kap. II.—IV., wie einzusehen uns noch vorbehalten ist, mit dem äusseren secundären Widerstande *du Bois-Reymond's* gar Nichts zu schaffen haben.

Wie wir eben den äusseren secundären Widerstand definirt haben, sind übrigens seine Grenzen wohl noch immer zu weit gesteckt. Denn *du Bois-Reymond* hat »auf die Fähigkeit der Substanz, secundären Widerstand anzunehmen, stets erst geschlossen, wenn das charakteristische langsame Wachsen der Stromstärke nach dem Umlegen der Wippe mindestens einmal bei jeder Richtung des Stromes beobachtet worden war«[1]. Es brauchte aber — wir kommen später noch darauf zurück — die Summe der accessorischen Widerstandsveränderungen selbst bei gleicher Zu- und Ableitung

1) *E. du Bois-Reymond.* Ueber den secundären Widerstand u. s. w. A. a. O. S. 852*.

keineswegs immer nach jeder Umkehrung der Stromrichtung eine Zeit lang negativ zu sein, wenn sie während der Schliessung in der ersten Richtung positiv gewesen war.

Mit Beiseitelassung der theoretischen Erörterungen *du Bois-Reymond's* wollen wir nun seine Erfahrungen für unsere Zwecke zu verwerthen suchen. Wir finden alsdann unseren Versuchen am Nerven am nächsten stehend die Versuche an Cylindern von hartgesottenem Hühnereiweiss, welche zwischen zwei mit einer und derselben Flüssigkeit getränkten Fliesspapierbäuschen von Grundfläche zu Grundfläche dem Strome einer zwanziggliederigen Grove'schen Säule ausgesetzt wurden[1]. War die Tränkungsflüssigkeit concentrirte Kochsalzlösung, so wurde eine Abnahme, war sie concentrirte Kupfer- oder Zinkvitriollösung, so wurde eine Zunahme des Widerstandes beobachtet. Nach (1) musste aber in allen Fällen, von den untergeordneteren Widerstandsveränderungen der Stromaustrittsgegend — die beobachtete Anschwellung dieser Gegend entspricht ganz der Voraussicht S. 427 ff. — abgesehen, eine Widerstandszunahme in Folge der Verarmung und eine Widerstandsabnahme in Folge des Flüssigkeitsersatzes in der Stromeintrittsgegend statthaben: es muss daher die erstere Widerstandszunahme bei der Kochsalzlösung, nicht aber bei der Kupfer- und Zinkvitriollösung durch die letztere Widerstandsabnahme compensirt oder übercompensirt worden sein. Und in der That sind nicht nur die Verarmung und der Flüssigkeitsersatz durch die raketenartige Einschnürung des Eiweisscylinders bei allen drei Flüssigkeiten erhärtet, sondern es sind auch jene Nichtcompensation und jene Compensation oder Uebercompensation noch besonders dadurch bewiesen, dass das Abschneiden des Stromeintrittsendes des Eiweisscylinders bei der Kupfer- und der Zinkvitriollösung beträchtlich mehr, bei der Kochsalzlösung aber gar nicht mehr die Intensität des den Eiweisscylinder durchsetzenden Stromes verstärkte als das Abschneiden des Stromaustrittsendes.

Um den Einfluss anderer Tränkungsflüssigkeiten zu ermitteln, legte *du Bois-Reymond* auf den mit Kupfervitriollösung getränkten Zuleitungsbausch einen ebenso getränkten Sicherheitsbausch, auf diesen ein mehrere Mm. dickes Blatt Modellirthon und darauf den mit Kochsalzlösung getränkten Hülfsbausch; zwischen die beiden Hülfsbäusche brachte er das Eiweissprisma, das er mittendurchschnitt, und dessen beide Hälften er durch den mit der zu prüfenden Flüssigkeit getränkten Bausch von einander trennte. Diese Anordnung war aber in mehrfacher Hinsicht sehr ungünstig. Gegen den Widerstand des 50^{mm} langen Eiweisscylinders kam nunmehr der

1) Für die nächste Folge s. *E. du Bois-Reymond*. Ueber den secundären Widerstand u. s. w. A. a. O. S. 851—8*; 875—9*; 885—7*. — S. auch oben S. 8—11.

Widerstand der zu- und ableitenden Theile wohl in Betracht; und die Widerstandsveränderungen dieser letzteren mussten die Widerstandsveränderungen des Eiweisscylinders verdunkeln, ja sogar, wenn der mittelste Bausch mit Brunnenwasser oder Alkohol getränkt war, verdecken. Ferner konnte, indem der Eiweisscylinder nicht nur zwischen der Prüfungsflüssigkeit, sondern auch zwischen der Kochsalzlösung durchströmt war, durch die etwaige negative Summe der accessorischen Widerstandsveränderungen bei der Kochsalzlösung die etwaige positive Summe der accessorischen Widerstandsveränderungen bei der Prüfungsflüssigkeit compensirt oder gar übercompensirt werden. Endlich liessen bei dem vielfachen Wechsel der Gerüste und der Flüssigkeiten die Folgen dieses Wechsels nur unvollkommen sich übersehen, und es war besonders das Verhalten des mittelsten, mit der Prüfungsflüssigkeit getränkten Bausches zwischen Eiweisscylindern immer unbekannt. Es ist darum nur zuverlässig, dass zwischen der Höllensteinlösung, der Bleizuckerlösung, der Chlorzinklösung, der Alaunlösung, der verdünnten Schwefelsäure und der verdünnten Salpetersäure als Tränkungsflüssigkeit von Bäuschen der Widerstand des Eiweisscylinders zunimmt; zwischen der Salmiaklösung aber, der Chlorcalciumlösung, der Sublimatlösung, der Glaubersalzlösung, der neutralen oder doppelt chromsauren Kalilösung, der kohlensauren Kalilösung, der Kalihydratlösung, dem Brunnenwasser, dem absoluten und verdünnten Alkohol und endlich der Essigsäure kann der Widerstand des Eiweisscylinders abnehmen oder zunehmen, wenngleich er allerdings immer weniger zunehmen muss, als bei den erstgenannten Flüssigkeiten. Wie dem nun auch sei, bei allen Flüssigkeiten der ersten Gruppe ausser der Höllensteinlösung ist die raketenartige Einschnürung des Eiweisscylinders beobachtet und auch bei vielen Flüssigkeiten der letzteren Gruppe; bei welchen Flüssigkeiten hier die Einschnürung vermisst worden ist, sagt *du Bois-Reymond* nicht, wir sind aber nach unseren Erfahrungen am Nerven anzunehmen berechtigt, dass die Einschnürung bei dem Brunnenwasser und dem Alkohol ausgeblieben ist. Dann ist, der Voraussicht in (1) entsprechend, bei allen Flüssigkeiten, welche besser leiten als die Flüssigkeit des Eiweisscylinders, die Verarmung und der Flüssigkeitsersatz in der Stromeintrittsgegend ausser Zweifel, und es ist nur bei den Flüssigkeiten der zweiten Gruppe wie bei der Kochsalzlösung die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung durch die Widerstandsabnahme in Folge des Flüssigkeitsersatzes compensirt, während eine solche Compensation bei den Flüssigkeiten der ersten Gruppe ebensowenig wie bei der Kupferlösung statthat; bei den schlechter leitenden Flüssigkeiten aber kommt es zur Verarmung nicht, und die Widerstandszunahme in Folge des Flüssigkeitsersatzes ist, je nachdem eine Abnahme oder Zunahme des Widerstandes zur Beobachtung kommt, hier durch die Widerstands-

abnahme in Folge des Reicherwerdens an Flüssigkeit compensirt resp. nicht compensirt. Die einzige Ausnahme, welche die Höllensteinlösung darbietet, ist offenbar nur eine scheinbare. Denn da *du Bois-Reymond* ausdrücklich sagt, dass bei dieser Flüssigkeit der Strom viel zu schnell auf eine sehr niedere Stufe gesunken sei, als dass die raketenartige Einschnürung Zeit gehabt hätte sich auszubilden, kann in diesem Falle die beobachtete Widerstandszunahme auch gar nicht durch die Flüssigkeitsfortführung bedingt gewesen sein; vielmehr ist, wenn nicht etwa ein Zufall bei den Versuchen im Spiele gewesen ist, nur an die Entstehung einer sehr schlecht leitenden Substanz (etwa Schwefelsilbers) mittelbar durch die Elektrolyse zu denken.

Zu voller Erledigung der Sache käme es allerdings noch darauf an, anzugeben, weshalb bei den besser leitenden Flüssigkeiten der zweiten Gruppe und nicht bei denen der ersten Gruppe die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung überwunden worden ist. Dazu gebricht es aber insofern schon an den nothwendigsten Anhaltspunkten, als über die Grösse der beobachteten Zu- und Abnahme des Widerstandes und über den genaueren Verlauf der Widerstandsveränderungen gar Nichts bekannt geworden ist. Nimmt man aus der zweiten Gruppe die Sublimatlösung mit der oben gerechtfertigten Annahme, dass bei ihr eine geringere Zunahme des Widerstandes auftritt, in die erste Gruppe hinüber, so schliesst die erste Gruppe nur solche Flüssigkeiten und zugleich von den untersuchten Flüssigkeiten alle diejenigen ein, welche im flüssigen Hühnereiweiss einen Niederschlag erzeugen[1]. Erinnert man sich dann des in den verschiedenen Schichten des Eiereiweisses verschiedenen Salz- und Alkaligehaltes, wodurch für die Fällung verschiedener Partieen des zur Bildung des Cylinders verwandten Hühnereiweisses verschiedene Temperaturen erforderlich sind; überzeugt man sich ferner durch den Versuch, dass in der aus Eiweisscylindern, wie sie gewöhnlich für die Versuche hergerichtet sind, ausgepressten Flüssigkeit fällbares Eiweiss sich noch findet: so hat es viele Wahrscheinlichkeit für sich, dass der in Rede stehende Unterschied, entsprechend den Ergebnissen in (1), in der Fällung des noch flüssigen Eiweisses durch die Flüssigkeiten der ersten Gruppe seinen Grund hat. Aber auch noch Verschiedenheiten der Leitungsfähigkeit, der Adhäsion und der Diffusion, ja sogar der Veränderung des Gerüstes können von Bedeutung sein; und nur neue Untersuchungen, zu welchen wir keine Veranlassung haben, werden zuverlässige Auskunft hier verschaffen können.

1) Schon *du Bois-Reymond* hat an diese Eigenthümlichkeit seiner secundären Widerstand gebenden Flüssigkeiten gedacht, dem Gedanken aber keine Folge weiter gegeben, weil die Sublimatlösung und der absolute und verdünnte Alkohol unter den anderen Flüssigkeiten sich befanden, und wohl auch deshalb, weil er in den Eiweisscylindern flüssiges Eiweiss nicht mehr voraussetzte. — S. *E. du Bois-Reymond*, Ueber den sec. Widerst. u. s. w. A. a. O. S. 887*.

Nächst den Versuchen an Eiweisscylindern sind am interessantesten die Versuche an Fliesspapierbäuschen, welche, mit verschiedenen Flüssigkeiten getränkt, zwischen den mit Kupfervitriollösung getränkten Zuleitungsbäuschen von Grundfläche zu Grundfläche durchströmt wurden. Für das Verständniss ihrer Ergebnisse bedarf es der Bemerkung, dass der Widerstand der freien Strecken der Zuleitungsbäusche gegen den Widerstand des 50^{mm} langen Versuchsbausches nur dann verschwand, wenn die Tränkungsflüssigkeit des Versuchsbausches viel schlechter als die Kupferlösung leitete, und desto mehr in Betracht kam, je grösser die Leitungsfähigkeit jener Tränkungsflüssigkeit war; so dass bei grosser Leitungsfähigkeit der Tränkungsflüssigkeit des Versuchsbausches die beobachteten Widerstandsveränderungen auf Rechnung ebensowohl der Zuleitungsbäusche wie des Versuchsbausches zu setzen waren. Alsdann findet man es ohne Weiteres in Uebereinstimmung mit unseren Ergebnissen in (1), dass bei der (concentrirten) Zinkvitriollösung, der Glaubersalzlösung, der Alaunlösung, der Kochsalzlösung, der Sublimatlösung und der käuflichen Kalihydratlösung als Tränkungsflüssigkeit des Versuchsbausches keine Zunahme, bei dem destillirten oder Brunnen-Wasser eine geringe Zunahme, bei der verdünnten Schwefel- oder Salpetersäure eine sehr deutliche Zunahme, endlich bei der chromsauren Kalilösung eine sehr beträchtliche Zunahme des Widerstandes sich herausgestellt hat. Denn bei der letztgenannten Flüssigkeit ist ein Niederschlag eingetreten; die erstgenannten Flüssigkeiten leiteten etwa ebenso oder wenig besser als die Kupferlösung, und die mässige Widerstandszunahme in Folge der Verarmung der Stromeintrittsgegend am Ableitungsbausche musste durch die verschiedenen Widerstandsabnahmen im Schliessungskreise übercompensirt sein; das destillirte und das Brunnen-Wasser leiteten viel schlechter als die Kupferlösung, und die Verarmung der Stromeintrittsgegend am Versuchsbausche musste sich geltend machen; endlich leiteten die verdünnte Schwefelsäure und die verdünnte Salpetersäure viel besser als die Kupferlösung, und die Verarmung der Stromeintrittsgegend am Ableitungsbausche musste hervortreten[1]. Nur dass bei der Salmiaklösung eine Abnahme des Widerstandes sich gezeigt hat, obwohl diese Flüssigkeit noch besser als die verdünnten Säuren leitete und daher erst recht die Verarmung der Stromeintrittsgegend am Ableitungsbausche hätte eintreten wie hervortreten müssen, könnte Schwierigkeiten

1) Durch einen besonderen Versuch *du Bois-Reymond's* (a. a. O. S. 857*; 888—9*.) schien gezeigt zu sein, dass auch im Falle des Schwefelsäure-Bausches das Stromeintrittsende d i e s e s Bausches der Sitz des secundären Widerstandes sei. Indessen ist der Versuch mit alinearer Stromleitung im Schwefelsäure-Bausche angestellt und beweist deshalb nicht, was er soll. Ueber die Ursache der Zunahme des Widerstandes bei eben diesem Versuche s. u. Abschn. III, Kap. II. § 3.

bieten; allein es ist uns schon oben das rasche Eindringen der Salmiaklösung in den Nerven aufgefallen, und es liegt nahe, das Gleiche für den Fall des Fliesspapieres anzunehmen, wodurch die scheinbare Abweichung beseitigt ist.

Noch eine ganze Anzahl von Körpern in prismatischer Gestalt hat *du Bois-Reymond* zwischen den mit Kupfervitriollösung getränkten Bäuschen von Grundfläche zu Grundfläche durchströmt sein lassen. Die verschiedenen thierischen Gewebetheile mit Ausnahme des Knochens, ferner Blutkuchen, geschlagener Faserstoff, Speckhaut, weiter Kartoffeln, Mohrrüben, Petersilienwurzeln, Aepfel, Birnen, endlich der saftige Stiel der Begonien haben an Widerstand gewonnen. Wir finden darin eine Bestätigung unserer Voraussicht in (1), da in manchen Fällen die Kupferlösung wie bei dem Nerven einen Niederschlag in der Flüssigkeit des Versuchskörpers hervorrufen musste und in den anderen Fällen die letztere Flüssigkeit schlechter leitete als die Kupferlösung, wo dann die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung durch die Widerstandsabnahme in Folge des Flüssigkeitsersatzes und in Folge der Erwärmung und der Elektrolyse nicht compensirt worden ist. Andererseits hat der Widerstand des Modellirthones nie zugenommen. Und dies ist wiederum im Einklange mit unseren Ergebnissen in (1), indem die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung bei dem Modellirthone durch die Widerstandsabnahme in Folge des Flüssigkeitsersatzes nur compensirt zu sein brauchte. Es entsteht aber die Frage, woher es kommt, dass im letzteren Falle und nicht in den ersteren Fällen eine Compensation der Widerstandszunahme stattgehabt hat. Die Ursache könnte im verschiedenen Bau der Gerüste der erstgenannten Körper einerseits und des Modellirthones andererseits so gelegen sein, dass wir sie nicht ausfindig machen könnten, und doch dürfte darum allein an der Richtigkeit unserer Ergebnisse in (1) kein Zweifel sein: glücklicher Weise fehlt uns jedoch hier die Antwort nicht. Wir haben oben die feuchten porösen Körper in solche mit starrem Gerüste und andere mit nicht starrem Gerüste geschieden, wie es für die folgende Darlegung Vortheile bot; richtiger hätten wir sagen sollen, dass die verschiedenen Gerüste der feuchten porösen Körper der Verschiebung der die Hohlräume begrenzenden Wandungen einen verschiedenen Widerstand entgegensetzen. Bleiben wir bei unserer Scheidung, so müssen wir den nicht starren Gerüsten nun noch eine verschiedene Weichheit zuschreiben; und wenn wir uns einen und denselben feuchten porösen Körper mit wechselnder Weichheit seines Gerüstes zwischen freier Flüssigkeit durchströmt denken, so ergiebt die Anschauung, dass seine Verarmung sowohl wie sein Reicherwerden an Flüssigkeit nahe dem Stromeintrittsende — bei besser resp. schlechter leitender freier Flüssigkeit — unter sonst gleichen Umständen wachsen

muss mit der Weichheit des Gerüstes. Für die Weichheit der Gerüste haben wir aber ein Mass in dem »Schwinden« der feuchten porösen Körper, und danach sind die Gerüste der Nerven und Muskeln, des Eiweisscylinders und des Blutkuchens am meisten weich, weniger weich die Gerüste der Kartoffeln, Mohrrüben u. s. w., endlich am wenigsten weich das Gerüst des Modellirthones. Es müssen also unter sonst gleichen Umständen die Verarmung und die Widerstandszunahme in Folge derselben bei dem Modellirthone kleiner als bei den anderen feuchten porösen Körpern sein, womit natürlich die Compensation der Widerstandszunahme in Folge der Verarmung durch die Widerstandsabnahme in Folge des Flüssigkeitsersatzes erleichtert ist. In der That ist auch die raketenartige Einschnürung am stärksten beobachtet an den Eiweisscylindern und den thierischen Gewebetheilen, gar keine Gestaltsveränderung aber wahrgenommen worden an den Modellirthon-Stäben, so dass auf diese sogar unsere Voraussicht in (1), soweit sie die Körper mit starrem Gerüste betrifft, Anwendung finden könnte.

Gerade bei den Körpern mit starrem Gerüste scheint übrigens auf den ersten Blick unsere Voraussicht in (1), nachdem sie soweit trefflich sich bewährt hat, schliesslich doch noch zu Schanden zu werden. Denn bei der letzterwähnten Versuchsreihe *du Bois-Reymond's* haben Kreide und Bimsstein, lange in destillirtem Wasser gesotten, ferner gesottene Hölzer und ein holziger Zweig des Zuckerahorns, endlich auch Knochen spurweise an Widerstand zugenommen. Aber *du Bois-Reymond* bemerkt selbst für den Knochen, dass er nur dann eine sichere Spur von Widerstandszunahme darzubieten schien, wenn er ein mehr schwammiges Gefüge besass: so dass wir die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung dem Knochenmarke zuschreiben dürfen. Und was die anderen genannten Körper betrifft, so ist, wenn nicht gar doch noch die Polarisation bei ihnen sich zur Geltung gebracht hat, nicht zu übersehen, dass die Bedingungen unserer Voraussicht in (1) bei ihnen nicht erfüllt waren, indem der Lufteintritt in die Körper nicht ausgeschlossen war.

Damit sind, die unwesentlichen Ergebnisse an Sand- und Schwefel-Breien ausgenommen, über welche ohne Kenntniss der genaueren Versuchsbedingungen nur schwer ein Urtheil sich bilden lässt, die hierhergehörigen Erfahrungen *du Bois-Reymond's* erschöpft; und unsere Ergebnisse der Ueberlegung in (1) haben, müssen mir zugeben, eine viel bessere Bewährung durch die Versuchsergebnisse am Nerven und an anderen feuchten porösen Körpern gewonnen, als wir von vornherein hatten erwarten können. Auf gesicherter Grundlage können wir daher, indem wir die Bedingung der linearen Durchströmung des feuchten porösen Körpers, welche wir bisher durchweg festgehalten haben, aufgeben, zur Betrachtung der Flüssig-

keitsfortführung und ihrer Folgen im alinear durchströmten feuchten porösen Körper vorschreiten.

(3.) Von der Flüssigkeitsfortführung und ihren Folgen im alinear durchströmten feuchten porösen Körper.

Hier ist sogleich klar, dass, wenn den beiden Enden des Versuchskörpers in solcher Länge, als bei linearer Durchströmung ein Ersatz von Flüssigkeit oder eine Veränderung des Flüssigkeitsgehaltes im Stromein- und im Stromaustrittsende erfolgen würde, die prismatische Gestalt erhalten ist und die Zu- und Ableiter der Stromes die Endgrundflächen der Prismen in ganzer Ausdehnung berühren, mag die Gestalt des Versuchskörpers im Uebrigen sein welche sie wolle, immer nur dieselben Veränderungen im Versuchskörper durch die Flüssigkeitsfortführung bedingt sein werden und demgemäss auch immer dieselben accessorischen Widerstandsveränderungen statthaben werden, wie — bei der gleichen Stromintensität — wenn der Versuchskörper in ganzer Länge prismatisch gestaltet wäre. Denn da der Versuch ergeben hat, dass die Flüssigkeitsfortführung im Capillarrohre bei unverändertem Flüssigkeitsfaden der Stromintensität proportional ist, ist die Fortführung in jedem Röhrchen des feuchten porösen Körpers der Stromdichte proportional; es muss daher bei einer Veränderung des Querschnittes der Strombahn die in dem einzelnen Abschnitte (Querschnitte) des Körpers fortgeführte Flüssigkeitsmenge, was sie durch die Zu- oder Abnahme der Zahl der im Abschnitte befindlichen Röhrchen gewinnt oder verliert, durch die Ab- resp. Zunahme der Grösse der Fortführung in jedem Röhrchen wieder verlieren resp. gewinnen und somit das Mittelstück des feuchten porösen Körpers ganz unverändert bleiben.

Nicht minder klar ist aber weiter, dass, mögen die Endstücke des Versuchskörpers gestaltet sein wie sie wollen, Alles, was wir über das Auftreten und Nichtauftreten von Veränderungen des Versuchskörpers durch die Flüssigkeitsfortführung, über den Ersatz der ursprünglichen Flüssigkeit und die Veränderung des Flüssigkeitsgehaltes am Stromein- wie am Stromaustrittsende, endlich über die accessorischen Widerstandsveränderungen in (1) erschlossen haben, auch nunmehr noch gültig ist. Nur die Grösse der einzelnen accessorischen Widerstandsveränderungen und daher auch ihre algebraische Summe wird je nach der Gestalt der Endstücke des Versuchskörpers eine verschiedene sein.

Mit diesen Ueberlegungen ist unsere Aufgabe hier bereits gelöst, da wir uns begreiflich nicht darauf einlassen können, im Allgemeinen die Veränderungen beliebig gestalteter alinearer Leiter unter einander oder mit den Veränderungen linearer Leiter zu vergleichen. Und wir haben zuzu-

sehen, ob, wie bei der linearen, so auch bei der alinearen Durchströmung die Ergebnisse unserer Ueberlegungen sich bewähren.

Von unseren Untersuchungen gehören zunächst hierher die zweite, die dritte und die vierte Versuchsreihe des § 2. des Kap. V. und im Anschlusse an sie die Versuche der §§ 1. und 4. des Kap. II. und des § 3. des Kap. III. Die Ergebnisse einer jeden Versuchsreihe haben hier für sich allein, nicht im Vergleiche mit den Ergebnissen einer anderen Versuchsreihe des § 2. des Kap. V. der Betrachtung zu unterliegen, und es ist für diese aus (2a) als bewiesen herüberzunehmen, dass die Zufuhr vom Zuleiter her immer zureichend gewesen ist. Alsdann finden wir für die zweite und die dritte Versuchsreihe im Wesentlichen nur zu wiederholen, was hinsichts der Ergebnisse der ersten Versuchsreihe desselben § oben in (2*a*) erörtert ist. Auch bietet es bei der vierten Versuchsreihe keine Schwierigkeit, die hinzutretenden Veränderungen am Stromaustrittsende in dem einzelnen Falle zu übersehen, da, wenn die Zufuhr vom Zuleiter her immer zureichend gewesen ist, auch die Abfuhr vom Stromeintrittsende des Ableiters immer ausreichend gewesen sein muss und, was die chemischen Vorgänge, die Diffusion u. s. w. betrifft, die Veränderungen am Stromaustrittsende den Veränderungen am Stromeintrittsende entsprechen müssen. Unsere Voraussicht in (1) bestätigt sich, wie in (2a), überall auch bei den jetzt in Rede stehenden Versuchsreihen.

Ebenso finden wir den Erwartungen gemäss die Ergebnisse der Versuche des § 3. des Kap. V., welche am nächsten sich anschliessen, wenn wir nur von den Versuchen mit flüssigem Hühnereiweiss einstweilen absehen. Die Höllensteinlösung reiht sich offenbar den Flüssigkeiten an, welche einen Niederschlag in der Nervenflüssigkeit erzeugen, und die Kalihydratlösung verhält sich ähnlich der Salmiaklösung. Der Diffusion kommt, wie natürlich, bei diesen Versuchen mit freien Flüssigkeiten eine grössere Bedeutung zu als bei den früheren Versuchen mit Thonspitzen.

Endlich erweisen die Richtigkeit unserer Ueberlegungen auch die Ergebnisse der Versuche des § 5. des Kap. V. mit metallischer Zu- und Ableitung des Stromes. Denn, von den Besonderheiten der Metalle ganz unabhängig, haben stets eine Verengung der Stromeintrittsgegend, eine Anschwellung der Stromaustrittsgegend und — dem entsprechend, dass die erstere durch die letztere im Einflusse auf den Widerstand nicht compensirt werden kann (vgl. o. S. 109—10.) — eine accessorische Zunahme des Widerstandes sich herausgestellt.

Wiederum aber ermöglichen es die Untersuchungen *du Bois-Reymond's*, die Bewährung, auf welche es uns ankommt, nicht auf den Nerven allein beschränkt bleiben zu lassen.

Nicht anders nämlich, als unsere Erfahrungen am Nerven, sind die

Ergebnisse der Versuche *du Bois-Reymond's* an Eiweisscylindern[1] mit metallischen Elektroden, da es nach den Ermittelungen oben S. 402 ff. keinem Zweifel unterliegen kann, dass die »Unregelmässigkeiten« bei den positiveren Metallen auch hier nur der positiven Polarisation zuzuschreiben sind. Und in Uebereinstimmung sind dann auch die Erfahrungen *du Bois-Reymond's* an Fliesspapierbäuschen[2] zwischen metallischen Elektroden: denn wenn auch nur eine Zunahme des Widerstandes und nicht eine Gestaltsveränderung der Bäusche beobachtet worden ist, so ist doch die Verarmung der Stromeintrittsgegend dadurch erhärtet, dass durch verstärkten Druck auf den Eintritts-, nicht auf den Austrittsbausch die durch die Widerstandszunahme geschwächte Stromstärke im Schliessungskreise auf Augenblicke sich wiederherstellen liess.

Der Voraussicht entsprechen ferner die Ergebnisse von *du Bois-Reymond's* Versuchen an Eiweisscylindern zwischen freien Flüssigkeiten. »Vielleicht«, sagt *du Bois-Reymond*[3], »ist nicht unnütz zu bemerken, dass es im Wesentlichen gleichgültig ist, ob man das Eiweissprisma zwischen Bäusche bringt, welche mit einer bestimmten Flüssigkeit getränkt sind, oder ob man es bogenförmig mit seinen beiden Enden in dieselbe Flüssigkeit taucht. Die von uns bis jetzt stets angewendete (erste) Versuchsweise hat keine andere Bedeutung, als dass sie eine grössere Bequemlichkeit gewährt und die Berührungsfläche des Eiweisses mit dem zuführenden Elektrolyten sicherer abzugrenzen erlaubt.« Es waren aber die Eiweisscylinder zwischen den freien Flüssigkeiten alinear durchströmt, da die Flüssigkeiten eine Nebenschliessung von grossem Querschnitte zu den eingetauchten Eiweissenden abgaben, so dass nur etwa bei dem Brunnenwasser und bei dem absoluten und verdünnten Alkohol ein wesentlicher Stromzweig die eingetauchten Eiweissenden durchsetzte und bei diesen Flüssigkeiten ein mehr oder weniger beträchtlicher Theil des Stromes, bei den das Eiweiss an Leitungsfähigkeit übertreffenden Flüssigkeiten aber fast der ganze Strom erst am Niveau der Flüssigkeit vom Mantel her in den Eiweisscylinder ein- resp. aus ihm austrat. Trotzdem ist in den Ergebnissen keine wesentliche Abweichung von dem Falle, dass die Eiweisscylinder zwischen Bäuschen linear durchströmt waren, gefunden worden: und wir hätten daher auch nur das oben in (2b) Erörterte zu wiederholen.

Schliesslich sind noch die Versuche *du Bois-Reymond's* zu erwähnen, bei welchen nicht den Grundflächen des Eiweissprisma's oder anderer

1) *E. du Bois-Reymond*, Ueber den secundären Widerstand u. s. w. A. a. O. S. 880—2 *.

2) Ebenda S. 882—3 *.

3) Ebenda S. 879 *.

prismatisch gestalteter feuchter poröser Körper Zuleitungsbäusche, sondern zwei Punkten der Seitenflächen des Prisma's Keilbäusche angelegt waren.[1] Auch hier ist in den Widerstandsveränderungen keine Abweichung hervorgetreten von dem Falle, dass die Prismen linear durchströmt waren. Gestaltsveränderungen der Körper sind bei der neuen Versuchsweise allerdings nur für die Muskeln vermerkt; doch darf die Verarmung der Stromeintrittsgegend auch sonst als zweifellos gelten dadurch, dass die durch die Widerstandszunahme des Körpers sehr geschwächte Stromintensität im Schliessungskreise durch die Verrückung des Eintritts-, nicht des Austrittsbausches sich sehr beträchtlich hob und darauf von Neuem sank.

(4.) Von einer unerwarteten accessorischen Widerstandszunahme des alinear durchströmten Nerven.

Soweit ist also Alles klar und in der nur zu erwartenden Weise durchsichtig, soweit sind überall Voraussicht und Erfahrung in Uebereinstimmung. Aber die Musterung einiger bisher vernachlässigter Versuche und die genauere Betrachtung bereits berücksichtigter Versuche decken uns bei dem Nerven doch noch eine wesentliche Abweichung der Versuchsergebnisse von der Voraussicht auf.

Bei den Versuchen des § 4. des Kap. V. haben wir gefunden, dass, auch wenn der Nerv selber als Zu- und Ableiter des Stromes dient, die intrapolare Nervenstrecke unter dem Einflusse des Stromes an Widerstand gewinnt. In dieser Fassung befand sich aber die Erfahrung sogleich im Widerspruche mit früheren Erfahrungen, da, wie wir inzwischen S. 430. gesehen haben, Versuche des § 2. des Kap. IV. gleichfalls als Versuche über die Durchströmung des Nerven zwischen Nerven sich auffassen lassen; und nur weil eine genauere Einsicht in den Strömungsvorgang im Nerven zur Zeit uns noch mangelte, mussten wir im § 4. des Kap. V. bei der gegebenen Fassung stehen bleiben. Jetzt, wo wir wissen, dass die intrapolare Strecke, welcher der Nerv als Zu- und Ableiter des Stromes diente, bei den Versuchen des § 2. des Kap. IV. linear, bei den Versuchen des § 4. des Kap. V. hingegen alinear durchströmt war, fällt der Widerspruch einfach dadurch fort, dass als Ergebniss von beiderlei Versuchen auszusprechen ist, dass bei der Zu- und Ableitung des Stromes durch den Nerven die intrapolare Nervenstrecke bei linearer Durchströmung an Widerstand abnimmt, bei alinearer Durchströmung an Widerstand zunimmt. Und diese Erfahrung steht nun durchaus im Gegensatze zu der Voraussicht, da bei der Zu- und Ableitung des Stromes durch die freie gleichartige Flüssigkeit oder durch das gleiche und mit der gleichartigen Flüssigkeit erfüllte poröse Gerüst

1) *E. du Bois-Reymond*, Ueber den secundären Widerstand u. s. w. A. a. O. S. 856—8*; 888—9*; 897—8*.

unter keinen Umständen, bei alinearer Durchströmung ebensowenig wie bei linearer, eine accessorische Widerstandsveränderung des feuchten porösen Körpers statthaben sollte.

Die Verhältnisse, welche hier in Betracht kommen, sind glücklicherweise zu einfach, als dass wir uns erst noch des Verdachtes der Unrichtigkeit unserer Ueberlegungen zu erwehren hätten. Vielmehr ist es sogleich zweifellos, dass bei der alinearen Durchströmung des Nerven zwischen Nerven die intrapolare Nervenstrecke eine nicht zu erwartende und in ihrem Ursprunge unerklärliche accessorische Zunahme ihres Widerstandes erfährt. Höchstens der erschöpfenden Untersuchung wegen könnte man, weil die zu- und ableitenden Nerven bei den Versuchen des § 2. des Kap. IV. mit Querschnittflächen den Querschnittflächen des Versuchsnerven anlagen, bei den Versuchen des § 4. des Kap. V. hingegen mit mittleren Stellen ihres Verlaufes den mittleren Stellen des Versuchsnerven aufgelagert waren, die Widerstandsabnahme der intrapolaren Nervenstrecke bei linearer Durchströmung auch noch so nachgewiesen wissen wollen, dass die Zu- und Ableiter mit mittleren Stellen die Querschnittflächen des Versuchsnerven berührten, und umgekehrt die Widerstandszunahme bei alinearer Durchströmung auch dann dargethan wünschen, wenn die Zu- und Ableiter mit Querschnittflächen den mittleren Stellen des Versuchsnerven anlagen. Indessen sind diese Versuche einestheils ohne Verletzung des Versuchsnerven gar nicht ausführbar, anderentheils nur so unvollkommen und misslich anzustellen, dass wir selbst eine Anzahl gelungener derartiger Versuche im § 4. des Kap. V. gar nicht weiter haben erwähnen mögen. Dass aber die eben berührten Unterschiede in der Art der Zu- und Ableitung durch die Nerven für das Auftreten unserer unerwarteten Zunahme keineswegs von Bedeutung sind, geht mit Bestimmtheit aus den Versuchen mit flüssigem Hühnereiweiss im § 3. des Kap. V. hervor. Denn auch bei diesen Versuchen mit einer der uns unzugänglichen Nervenflüssigkeit jedenfalls sehr nahe stehenden und ohngefähr gleichartigen freien Flüssigkeit, bei welcher jene Unterschiede also fortfielen, hat die intrapolare Nervenstrecke bei der alinearen Durchströmung an Widerstand gewonnen: während es nach den Ergebnissen der ersten Versuchsreihe des § 2. des Kap. V. keinem Zweifel unterliegen kann, dass, wenn durch dasselbe Eiweiss der Strom der Querschnittfläche des Nerven zugeführt worden wäre, nur eine Widerstandsabnahme der Nervenstrecke sich ergeben hätte.

Vorsichtig haben wir vorhin als Bedingung der unerwarteten Zunahme des Widerstandes hingestellt, dass der Nerv zwischen Nerven alinear durchströmt sei. Gerade deshalb jedoch, weil wir bei der Zu- und Ableitung durch den Nerven auf die Zunahme gestossen sind, hält es schwer, sich zu denken, dass das Auftreten unserer Zunahme von der Constitution der

Zu- und Ableiter des Stromes überhaupt abhängig sei; und es drängt sich die Vorstellung auf, dass diese Zunahme nur deshalb bei anders gearteter Zu- und Ableitung bisher uns entgangen sei, weil alsdann die übrigen accessorischen Widerstandsveränderungen sie uns verdeckt haben. Diese Vorstellung wollen wir jetzt der Prüfung unterwerfen: ist sie richtig, so wird, wo wir die vorauszusehenden accessorischen Widerstandsveränderungen genauer werden begrenzen können, überall auch die nicht vorauszusehende accessorische Widerstandszunahme zum Vorschein kommen müssen.

An einen cylindrischen feuchten porösen Körper von mittleren Dimensionen seien verschieden gestaltete kürzere Stücke des nämlichen und mit der gleichartigen Flüssigkeit erfüllten porösen Gerüstes als Stromeintritts-Endstücke angesetzt. Das Ansatzstück sei in einem ersten Falle cylindrisch und von demselben Durchmesser wie der Körper; in einem zweiten Falle von der Gestalt zweier niedriger und mit ihren grossen Grundflächen aneinandergelegter abgestumpfter Kegel, deren Endflächen von gleicher Grösse mit den Grundflächen des Körpers seien; endlich in einem dritten Falle von derselben Gestalt wie im zweiten Falle, nur dass die Spitze des einen Kegels erhalten sei. In allen Fällen sei der einen Grundfläche des Körpers die gleichgrosse Endfläche des Ansatzstückes angelagert, und die zweite Endfläche des Ansatzstückes in ihrer ganzen Ausdehnung resp. die Spitze des Ansatzstückes sei mit dem Zuleiter des Stromes in Berührung; der Ableiter des Stromes stehe beliebig, aber immer in gleicher Weise mit dem cylindrischen Theile des Versuchskörpers in Verbindung. Für diese Fälle ergiebt unter der Voraussetzung gleicher Stromintensität der Fortschritt der Ueberlegung über den Punkt hinaus, an welchem wir dieselbe oben S. 443. abgebrochen haben, Folgendes. Die Widerstandsveränderung in Folge des Flüssigkeitsersatzes muss im dritten Falle beträchtlich grösser als im ersten Falle sein, weil die Strecke, welche der Flüssigkeitsersatz trifft, im dritten Falle von viel grösserer Bedeutung für den Gesammtwiderstand des Körpers ist als im ersten Falle; im zweiten Falle muss dieselbe Widerstandsveränderung ein wenig kleiner und, wenn die Durchströmung nicht lange andauert, gar nur etwa ebenso gross wie im ersten Falle sein. Noch mehr aber, als die Widerstandsveränderung in Folge des Flüssigkeitsersatzes, muss die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung an Flüssigkeit im dritten Falle die entsprechende Widerstandszunahme im ersten Falle übertreffen; und eben diese Widerstandszunahme in Folge der Verarmung muss auch im ersten Falle wesentlich grösser sein als im zweiten Falle. Denn erstens wird, da die in jedem Querschnitte des Körpers in der Zeiteinheit fortgeführte Flüssigkeitsmenge in allen drei Fällen dieselbe ist, der Flüssigkeitsverlust des Stromeintrittsendes im dritten Falle viel

grösser sein als im ersten Falle und im ersten Falle wesentlich grösser als im zweiten Falle; und zweitens wird der gleiche Flüssigkeitsverlust im dritten Falle eine viel grössere Widerstandszunahme zur Folge haben als im ersten Falle und im ersten Falle eine grössere als im zweiten Falle, weil die Flüssigkeit des Versuchskörpers von vornherein in der Strecke, deren Flüssigkeitsgehalt sich verändert, im dritten Falle einen viel kleineren Querschnitt besitzt als im ersten Falle und im ersten Falle einen kleineren Querschnitt als im zweiten Falle (vgl. oben S. 109—10.). Endlich muss die Widerstandsabnahme in Folge des Reicherwerdens an Flüssigkeit im Grossen und Ganzen wie die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung sich verhalten, nur dass der Unterschied der Widerstandsabnahme im ersten und dritten Falle und wiederum im ersten und zweiten Falle kleiner sein wird als der entsprechende Unterschied der Widerstandszunahme, weil das Wachsen des Querschnittes der Flüssigkeit im Stromeintrittsende überhaupt immer von geringerem Einflusse auf den Widerstand ist als die Abnahme desselben Querschnittes. Nach allem Diesem wird dann aber die algebraische Summe der accessorischen Widerstandsveränderungen im zweiten Falle, wenn die Zuleiter-Flüssigkeit besser leitet als die Flüssigkeit des Versuchskörpers, einen negativen Zuwachs, und wenn die Zuleiter-Flüssigkeit schlechter leitet, einen positiven Zuwachs dem ersten Falle gegenüber aufweisen müssen. Auch wird im dritten Falle die algebraische Summe der accessorischen Widerstandsveränderungen einen positiven Zuwachs zeigen müssen gegen den ersten Fall, wenn die Zuleiter-Flüssigkeit an Leitungsfähigkeit die Flüssigkeit des Versuchskörpers übertrifft; ist aber das Verhalten der Leitungsfähigkeiten das umgekehrte, so lässt sich ohne Weiteres Nichts mit Bestimmtheit darüber aussagen, ob im dritten Falle ein positiver oder ein negativer Zuwachs gegen den ersten Fall sich darbieten wird.

Mit diesen Ergebnissen der Ueberlegung können wir nun die Ergebnisse der drei ersten Versuchsreihen des § 2. des Kap. V. in der Weise vergleichen, dass wir den vorbetrachteten drei Fällen immer diejenigen drei Versuche gegenüberstellen, bei welchen der als Zuleiter des Stromes dienende Thon mit einer und derselben Flüssigkeit getränkt war. Denn wenn wir uns der Erörterungen im § 1. erinnern, so entsprach der Strömungsvorgang im Nerven bei der ersten Versuchsreihe dem Strömungsvorgange im vorbetrachteten ersten Falle, bei der zweiten Versuchsreihe dem Strömungsvorgange im dritten Falle, bei der dritten Versuchsreihe dem Strömungsvorgange im vorbetrachteten zweiten Falle; und wenn bei der dritten Versuchsreihe die Berührungsfläche zwischen dem Nerven und der positiven Zuleitungsröhre etwa noch grösser als bei der ersten Versuchsreihe gewesen ist, so müssen darum begreiflich die Ergebnisse der Versuche

beider Reihen nur noch in erheblicherem Grade der Voraussicht gemäss von einander abweichen. Wir finden alsdann, soweit überhaupt Unterschiede in den Ergebnissen bei den verschiedenen Reihen beobachtet sind, den Ergebnissen der ersten Versuchsreihe gegenüber die Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe der Voraussicht entsprechend, nicht entsprechend aber die Ergebnisse der dritten Versuchsreihe. In den Fällen, dass die Zuleiter-Flüssigkeit besser leitete als die Nervenflüssigkeit, zeigt sich hier statt einer grösseren Abnahme oder einer geringeren Zunahme gerade eine Zunahme und eine grössere Zunahme des Widerstandes: auch hier also tritt bei der alinearen Durchströmung des Nerven die unerwartete accessorische Zunahme des Widerstandes auf.

Die Bedingungen, welche wir bei unseren Ueberlegungen vorausgesetzt haben, waren allerdings bei unseren Versuchsreihen insofern nicht erfüllt, als die Stromintensität nicht immer die gleiche war, sondern, obwohl die Versuchsanordnung sonst unverändert erhalten wurde, wechselte mit dem wechselnden Widerstande, welcher bei den verschiedenen Versuchsreihen, trotz des constanten Abstandes der Elektroden, in Folge des verschiedenen Strömungsvorganges im Nerven der intrapolaren Nervenstrecke zukam (vgl. o. § 1.). Indessen was die erste und die dritte Versuchsreihe betrifft, welche uns hauptsächlich interessiren, so war der Widerstand der Nervenstrecke bei der dritten Versuchsreihe immer nur wenig grösser als bei der ersten, und noch weniger konnte dann die Intensität des die Nervenstrecke durchsetzenden Stromes bei der ersten Versuchsreihe die bei der dritten übertreffen, weil die Nervenstrecke doch nur neben dem grossen Vergleichswiderstande in der Nebenschliessung zum Platinrheostaten sich befand. Zudem übersieht man, dass, wenn der Unterschied der Stromintensitäten nicht zu vernachlässigen war, die Widerstandszunahme in Folge der Verarmung bei der ersten Versuchsreihe wegen der grösseren Stromintensität nur noch grösser hat sein müssen, als wir vorgesehen haben, und daher erst recht bei besser leitender Zuleiter-Flüssigkeit in den Versuchen der dritten Reihe eine grössere Abnahme oder eine geringere Zunahme des Widerstandes hätte hervortreten müssen als in den Versuchen der ersten Reihe. Weit entfernt also davon, der verschiedenen Stromintensität der Versuche wegen einem Verdachte ausgesetzt zu sein, ist gerade dadurch unsere unerwartete Widerstandszunahme nur a fortiori bewiesen. Es ist auch, wie wir zum Ueberflusse noch beifügen können, eben diese Zunahme nicht ausgeblieben bei den Versuchen oben S. 367., bei welchen der mit 1%iger Kochsalzlösung getränkte Thon als Zuleiter des Stromes diente und die Stromintensität genau die gleiche war, mochte der Strom in die Querschnittfläche des Nerven oder an der sehr stumpfen Thonspitzenkante in die mittlere Stelle des Nerven eintreten.

Wollten wir noch erörtern, weshalb bei der einen Zuleiter-Flüssigkeit leichter, bei der anderen schwerer die unerwartete Widerstandszunahme zum Vorschein kommt und wie dieselbe bei manchen Ergebnissen unserer Versuchsreihen, bei welchen sie zur Zeit noch nicht gerade sich erweisen lässt, doch schon bis zur Ueberzeugung durch die anderen accessorischen Widerstandsveränderungen hindurch wahrnehmbar ist, so würden wir damit nur zum Theil nunmehr selbstverständliche und in Rücksicht auf die Folge unnütze Verhandlungen führen. Eher hätten wir auf eine Abhängigkeit derselben Widerstandszunahme einzugehen, welche bei der Musterung der vorbesprochenen Versuche sich aufdrängt. Aber von dieser Abhängigkeit sehen wir vortheilhaft einstweilen ab und begnügen uns mit der Kenntniss, dass bei dem Nerven, wenn er alinear durchströmt ist, gleichviel von welcher Constitution die Zu- und Ableiter des Stromes sind, eine nicht zu erwartende accessorische Zunahme des Widerstandes eintritt. Unsere nächste Aufgabe muss es dann sein, den Ursprung dieser Zunahme zu enträthseln, zu ermitteln, in welcher Weise die unmittelbaren Folgen der Flüssigkeitsfortführung bei dem alinear durchströmten Nerven den anderen feuchten porösen Körpern gegenüber abweichen und woher diese Abweichung rührt. Und dieser Aufgabe wollen wir sogleich uns widmen; nur Folgendes wollen wir vorher noch bemerken.

Auf unserem jetzigen Standpunkte bietet es keine Schwierigkeit, von den Folgen der Flüssigkeitsfortführung im feuchten porösen Körper nach der Umkehrung der Stromrichtung ebenso Rechenschaft zu geben, wie es oben für den Fall der Durchströmung in einer und derselben Richtung geschehen ist. Befindet sich am ursprünglichen Stromaustrittsende des Versuchskörpers die freie gleichartige Flüssigkeit, so wird, wenn bei der ersten Stromrichtung keine Veränderung im Körper durch die Flüssigkeitsfortführung bedingt war, auch nach der Umkehrung der Stromrichtung keine solche Veränderung erfolgen; hatte zuerst ein Flüssigkeitsersatz oder eine Veränderung des Flüssigkeitsgehaltes am Stromeintrittsende stattgehabt, so wird nach der Umkehrung der umgekehrte Flüssigkeitsersatz resp. die umgekehrte Flüssigkeitsgehalts-Veränderung dort eintreten; war zuerst ein Niederschlag in der Flüssigkeit des Stromeintrittsendes erzeugt, so wird nach der Umkehrung der Niederschlag zwar bleiben, die in seinen Poren enthaltene Flüssigkeit der Stromeintrittsseite aber durch die ursprüngliche Flüssigkeit des Versuchskörpers verdrängt werden, u. s. w.: und allen diesen Veränderungen werden accessorische Widerstandsveränderungen des Versuchskörpers in der bekannten Weise entsprechen. Bei ungleichartiger Flüssigkeit am ursprünglichen Stromaustrittsende werden dann nach der Umkehrung der Stromrichtung zu den vorbetrachteten Veränderungen am neuen Stromaustrittsende noch Veränderungen am neuen

Stromeintrittsende hinzutreten und zwar Veränderungen, welche gegen den Fall, dass der Strom sogleich von vornherein an diesem Ende eingetreten wäre, durch die am ursprünglichen Stromaustrittsende vorher schon erfolgten Veränderungen modificirt sein werden. Geht man auf diese Weise alle Fälle wie oben in (1) durch, so wird man unsere Erfahrungen über die Widerstandsveränderungen wie über die sonstigen Veränderungen des Nerven nach der Umkehrung der Stromrichtung nicht minder, als unsere Erfahrungen sogleich nach der Schliessung der Kette, in gutem Einklange mit den Ergebnissen der Ueberlegung finden und damit eine neue Gewähr für die Richtigkeit dieser Ergebnisse erlangen. Bei der Betrachtung der ersten Versuchsreihe des § 2. des Kap. V. wird man nur noch die unerwartete accessorische Zunahme des Widerstandes, welche bei der alinearen Durchströmung des Nerven auftritt und, wie wir im § 3. sehen werden, an die alineare Durchströmung des Stromeintrittsendes geknüpft ist, in Rechnung zu bringen haben.

Auf diese Bemerkungen müssen wir uns beschränken und eine weitere Behandlung der Erscheinungen nach der Umkehrung der Stromrichtung uns versagen, weil trotz der langen Erörterungen, welche nöthig wären, unsere Einsicht in die Folgen der Flüssigkeitsfortführung im Allgemeinen doch in Nichts gefördert würde. Gerade nur insoweit aber hat das specielle Studium der in diesem § behandelten Widerstandsveränderungen zunächst Interesse, da, wie kaum noch der Bemerkung bedürfen wird, indem selbst bei einer und derselben Zu- und Ableitung des Stromes die einzelnen accessorischen Widerstandsveränderungen ungleichmässig mit der Stromintensität und der Stromdauer wachsen, indem also ihre algebraische Summe bei verschiedener Stromintensität und bei verschiedener Stromdauer nicht nur von verschiedener Grösse, sondern auch von verschiedenem Vorzeichen sein kann, indem ferner die zur Beobachtung kommenden Widerstandsveränderungen nur die algebraische Summe wiederum sind jener ersteren algebraischen Summe und der Widerstandsveränderungen in Folge der Erwärmung und der Elektrolyse (vgl. o. Fig. 12.) u. s. w., gar nicht daran zu denken ist, bestimmte Widerstandsveränderungen eines Körpers als an eine gewisse Zu- und Ableitung des Stromes ein für alle Male geknüpft festhalten zu wollen. Der Widerspruch, in welchen wir sogleich bei unseren ersten Versuchen im § 1 (2) des Kap. II. mit den Erfahrungen *du Bois-Reymond's* gerathen sind, ist demgemäss auch jetzt sehr einfach zu erledigen. Er erklärt sich vollkommen aus den verschiedenen Bedingungen von *du Bois-Reymond's* und unseren Versuchen, indem bei den ersteren die Stromintensität viel beträchtlicher, ferner die Berührungsfläche zwischen den acht Nerven und dem positiven Bausche grösser war u. s. w. Es ist darum die algebraische Summe aller Wider-

standsveränderungen des Nerven bei *du Bois-Reymond's* Versuchen negativ, bei unseren Versuchen positiv gewesen: die einzelnen accessorischen Widerstandsveränderungen des Nerven müssen aber ihrer Zahl und ihrem Vorzeichen nach in *du Bois-Reymond's* Versuchen dieselben gewesen sein, wie in unseren Versuchen, und beide Male so, wie die Anschauung sie uns aufgedeckt hat.

§ 3. Von der Flüssigkeitsfortführung und ihren Folgen im anhomogenen feuchten porösen Körper und insbesondere im alinear durchströmten Nerven.

(1.) Was die Anschauung über die Flüssigkeitsfortführung und ihre Folgen im anhomogenen feuchten porösen Körper ergiebt.

Bei den Ueberlegungen des vorigen § war immer stillschweigend die Homogenität des betrachteten feuchten porösen Körpers vorausgesetzt, und ihre Ergebnisse sind daher auch nur gültig für einen homogenen oder einfachen feuchten porösen Körper, d. h. für einen feuchten porösen Körper von der Beschaffenheit, dass, wenn man denselben in beliebiger Richtung in kleinste Querschnitte zerlegt, weder die verschiedenen Partieen des einzelnen Querschnittes noch die verschiedenen bei derselben oder bei verschiedener Schnittrichtung gewonnenen ganzen Querschnitte hinsichts des Gerüstes oder hinsichts der eingeschlossenen Flüssigkeit wesentliche Verschiedenheiten darbieten. Jetzt wollen wir die Flüssigkeitsfortführung und ihre Folgen betrachten in solchen feuchten porösen Körpern, bei welchen die eben angezeigte Bedingung nicht erfüllt ist, in anhomogenen oder zusammengesetzten feuchten porösen Körpern und zwar ausschliesslich in solchen mit nicht starrem Gerüste.

In einem prismatischen feuchten porösen Körper mögen in gleichlangen Stücken von dem Querschnitte des Prisma's regelmässig zwei Substanzen abwechseln, welche wir als αSubstanz und βSubstanz unterscheiden wollen. Die Enden des Prisma's schliessen mit der einen der beiden Substanzen ab, und die Grundflächen seien von derjenigen freien Flüssigkeit bespült, welche der Flüssigkeit in den Enden des Prisma's gleichartig ist, so dass am Stromein- und am Stromaustrittsende des Prisma's keine Veränderung durch die Flüssigkeitsfortführung gesetzt sei. Drei Möglichkeiten kommen alsdann in Betracht.

Erstlich kann in beiden Substanzen die in den Hohlräumen des festen porösen Gerüstes enthaltene Flüssigkeit dieselbe, das feste poröse Gerüst aber von verschiedenem Bau sein, so dass die in jedem Querschnitte in der Zeiteinheit fortgeführte Flüssigkeitsmenge bei der αSubstanz grösser ist als bei der βSubstanz. In diesem Falle werden in Folge der Flüssig-

keitsfortführung die βSubstanz-Stücke zwar keine Veränderung erfahren, die αSubstanz-Stücke aber an ihrem Stromeintrittsende an Flüssigkeit verarmen und an ihrem Stromaustrittsende an Flüssigkeit reicher werden [vgl. o. § 2 (1)]. Der Widerstand des Prisma's wird daher, da die Abnahme des Flüssigkeitsgehaltes durch die Zunahme desselben in Bezug auf den Widerstand nicht compensirt wird (vgl. o. S. 109—10.), durch die Flüssigkeitsfortführung unter dem Einflusse des Stromes wachsen: es wird eine accessorische Widerstandszunahme des Prisma's, wie wir sie bezeichnen wollen, in Folge der Anhomogenität eintreten.

Zweitens kann in beiden Substanzen das feste poröse Gerüst von demselben Bau, die das Gerüst erfüllende Flüssigkeit aber ungleichartig sein. Schliessen wir die chemische Verwandtschaft der beiden Flüssigkeiten aus, so ist vornehmlich deren Leitungsfähigkeit von Bedeutung, und wir wollen annehmen, dass die Flüssigkeit der αSubstanz besser leite als die Flüssigkeit der βSubstanz. In jedem Stücke der αSubstanz werden dann ein Reicherwerden an Flüssigkeit und ein Ersatz besser leitender Flüssigkeit durch schlechter leitende am Stromeintrittsende — und ein ebensolcher, nur geringerer Flüssigkeitsersatz am Stromaustrittsende statthaben; in jedem Stücke der βSubstanz werden eine Verarmung an Flüssigkeit und ein Ersatz schlechter leitender Flüssigkeit durch besser leitende am Stromeintrittsende — und ein ebensolcher, nur geringerer Flüssigkeitsersatz und ein Reicherwerden an Flüssigkeit am Stromaustrittsende erfolgen. Die Widerstandsveränderung des Körpers in Folge der vorgenannten Veränderungen insgesammt lässt sich schon hinsichts ihres Vorzeichens nicht mit Bestimmtheit ansagen; höchstwahrscheinlich wird jedoch meist eine accessorische Widerstandszunahme in Folge der Flüssigkeitsfortführung auftreten, weil die Verarmung der βSubstanz durch die unzureichende Zufuhr von der αSubstanz her noch besonders vergrössert ist.

Endlich kann drittens in beiden Substanzen sowohl das feste poröse Gerüst von verschiedenem Bau wie auch die das Gerüst erfüllende Flüssigkeit ungleichartig sein. Hier ist es aber für uns nicht lohnend, die denkbaren Variationen und ihre Folgen durchzugehen.

Wir wollen auch nicht weiter auf die Betrachtung anhomogener, aus mehr als zwei Substanzen zusammengesetzter Körper uns einlassen, sondern dafür bei dem durchsichtigen ersten der vorbehandelten drei Fälle noch ein wenig verweilen.

Schrumpfen an unserem prismatischen Versuchskörper bei unveränderter Länge der αSubstanz-Stücke die βSubstanz-Stücke mehr und mehr an Länge ein, so wird die accessorische Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität einen immer grösseren Bruchtheil des ursprünglichen Widerstandes des Prisma's betragen; dagegen wird dieselbe Widerstands-

zunahme verhältnissmässig desto kleiner sein, je kürzer die αSubstanz-Stücke bei unveränderter Länge der βSubstanz-Stücke werden: bei sehr geringer Länge der βSubstanz-Stücke und einer mittleren Länge der αSubstanz-Stücke wird die Widerstandszunahme ein Maximum haben. Ist der Versuchskörper bei prismatischer oder unregelmässigerer Gestalt alinear durchströmt, so wird dadurch nur die Grösse der Widerstandszunahme beeinflusst sein. Bei der verschiedenartigen Durchströmung der Versuchskörper wird aber als allgemeine Bedingung für das Auftreten der Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität festzuhalten sein, dass die Stromfäden die beiden Substanzen abwechselnd nach einander durchsetzen. Denken wir uns z. B. einen Würfel von αSubstanz mit einem Systeme senkrechter Scheidewände von βSubstanz, so wird die accessorische Widerstandszunahme bei alinearer Durchströmung des Würfels stets eintreten, bei linearer Durchströmung aber nur dann, wenn der Strom zwischen zwei correspondirenden Seitenflächen so fliesst, dass die Stromfäden die Scheidewände unter rechtem Winkel schneiden; bei dem Fliessen des Stromes zwischen den beiden anderen correspondirenden Seitenflächen oder den Grundflächen des Würfels wird der Würfel wie ein homogener feuchter poröser Körper sich verhalten, da alsdann jeder Stromfaden nur eine einzelne der beiden Substanzen des Würfels durchsetzt. Besitzt der Würfel von αSubstanz zwei einander schneidende Systeme von Scheidewänden von βSubstanz, so wird natürlich bei jeder Durchströmung die Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität auftreten. Schliesslich wird es kaum der Bemerkung bedürfen, dass eben diese Widerstandszunahme, sobald die Enden des Versuchskörpers nicht, wie wir es hier immer vorausgesetzt haben, von freier gleichartiger Flüssigkeit bespült sind, zu den accessorischen Widerstandsveränderungen am Stromein- und am Stromaustrittsende algebraisch sich hinzufügen wird.

(2.) Thatsächliche Bewährung der Ergebnisse der Anschauung in (1).

(a. Bewährung am Nerven und Muskel.)

Nach diesen Ueberlegungen brauchen wir nur des Baues des Nerven, wie wir schon einmal S. 318. auf ihn aufmerksam gewesen sind, uns wieder zu erinnern, um das Verständniss der accessorischen Widerstandszunahme des Nerven, welche im § 2 (4) unerwartet uns aufgestossen ist, zu gewinnen.

Der Nerv ist aus vielen der Länge nach aneinandergelegten Nervenfasern zusammengesetzt, und jede von diesen besitzt eine sehr feine Hülle, die Nervenscheide, und einen Inhalt, den Nerveninhalt, der an Dicke die Nervenscheide beträchtlich übertrifft. Der aus der inneren Polarisation des Nerven gezogene Schluss (s. o. S. 13.), dass der Nerv ein feuchter poröser Körper ist, wird danach unbedingt auf den Nerveninhalt zu übertragen

sein. Nicht minder wird jedoch die Nervenscheide als feuchter poröser Körper anzuerkennen sein. Denn ihre Porosität lässt sich schon von vornherein und vollends des Stoffwechsels des Nerveninhaltes wegen nicht bezweifeln; auch ist sie uns noch besonders vor die Augen geführt durch die Versuche der §§ 2. und 3. des Kap. V. mit Flüssigkeiten, welche einen Niederschlag in der Nervenflüssigkeit erzeugen, da trotzdem, dass nur eine kleine Stelle des Umfanges des Nerven mit der betreffenden Flüssigkeit in Berührung war, doch in der ganzen Dicke des Nerven der Niederschlag entstanden ist und die Nervenfasern abgestorben sind. Sollte man aber etwa noch der Dünne der Nervenscheide wegen Bedenken tragen, dieser ein System durch Hohlräume mit einander verbundener Capillaren zuzuerkennen, so erledigt sich das Bedenken hier einfach dadurch, dass wir die beiden benachbarten Nervenscheiden mit der zweifellos zwischen ihnen befindlichen Flüssigkeitsschicht fortan immer als ein Ganzes auffassen. Weil nun der Stoffwechsel des Nerveninhaltes durch die Nervenscheide hindurch erfolgt (vgl. o. S. 316.), ist es nicht denkbar, dass die Nervenflüssigkeit, worunter wir jetzt die in den Poren des Nerveninhaltes enthaltene Flüssigkeit verstehen, wesentlich verschieden ist von der Flüssigkeit in den Poren der Nervenscheide; dagegen weichen den Ergebnissen der mikroskopischen Untersuchungen zufolge die festen porösen Gerüste des Nerveninhaltes und der Nervenscheide sicher wesentlich von einander ab. Der Nerv ist also ein cylindrischer anhomogener feuchter poröser Körper, zusammengesetzt aus zwei Substanzen, welche in verschieden gebauten Gerüsten dieselbe Flüssigkeit besitzen und von welchen die eine in dünnen und auf den Grundflächen des Cylinders senkrechten Längsscheidewänden die andere durchsetzt.

Diesem Bau gemäss muss nach (1) der Nerv, wenn er von Querschnittfläche zu Querschnittfläche linear durchströmt ist, hinsichts der Folgen der Flüssigkeitsfortführung ganz wie ein homogener feuchter poröser Körper sich verhalten, bei der alinearen Durchströmung aber muss die accessorische Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität an ihm auftreten. Und gerade dies hat auch oben im § 2. sich herausgestellt, da uns bei dem alinear, nicht bei dem linear durchströmten Nerven eine Abweichung in den Folgen der Flüssigkeitsfortführung den anderen feuchten porösen Körpern gegenüber sich darbot, eine Abweichung der Art, dass der Widerstand der durchströmten Nervenstrecke eine unerwartete und in ihrem Ursprunge unbekannte accessorische Zunahme erfuhr. Die unerwartete accessorische Widerstandszunahme des § 2 (4) ist also, wie wir finden, nichts Anderes als die Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität.

Wäre der Nerv in günstigeren Dimensionen uns zugänglich, so stände hier noch ein besonderer, von allen unseren früheren Untersuchungen ganz

unabhängiger Nachweis der Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität bei dem Nerven in Aussicht. Von einem Nerven, der so breit wie lang wäre, würden wir zwei gleichgrosse lange Stücke ausschneiden, das eine parallel der Faserung, das andere senkrecht darauf, und an ihnen in genau gleicher Weise die Versuche des § 2. des Kap. IV. wiederholen, so zwar, dass wir *cd* jedesmal gerade die Mitte von *ab* einnehmen liessen. In beiden Fällen würde *cd* linear durchströmt sein — wenigstens würde die Durchströmung von der linearen nicht der Rede werth abweichen (vgl. o. Fig. 24 *A*.; S. 430.) —; aber jeder Stromfaden würde in *cd* in dem einen Falle nur in einer der beiden Substanzen des Nerven verlaufen, in dem anderen Falle beide Substanzen des Nerven wiederholt nach einander durchsetzen. Die Widerstandsveränderung von *cd* unter dem Einflusse des Stromes von K_1 müsste alsdann unter sonst gleichen Umständen in dem letzteren Falle einen positiven Zuwachs zeigen gegen den ersteren Fall.

Ist aber auch der Nachweis am Nerven selber unmöglich, so lässt er sich doch an einem Körper führen, der gerade hinsichts der hier in Betracht kommenden Verhältnisse dem Nerven höchst ähnlich ist. Auch der Muskel ist längsgefasert; auch bei ihm besteht jede Faser aus der Scheide und dem Inhalte; auch bei ihm — es liesse sich das vorhin vom Nerven Besprochene wiederholen — enthalten die beiden Substanzen in verschieden gebauten Gerüsten die gleiche Flüssigkeit. Nur die Contractilität des Muskels ist der Untersuchung hinderlich. Selbst wenn wirklich durch das Einbringen des contractilen Muskels in eine Streckvorrichtung jede Verschiebung einzelner Muskelbündel verhindert wäre, würde uns dieses Hülfsmittel Nichts leisten, weil wir es nur mit ausgeschnittenen Muskelstücken zu thun haben können. Für uns bleibt Nichts übrig, als die Untersuchung im Wesentlichen auf den nicht mehr contractilen Muskel zu beschränken. Die Frosch-Muskeln verdienen dann aber nicht mehr den Vorzug, und wir halten uns an Säugethier-Muskeln, bei welchen wir die gewünschten Stücke in grösserer Länge gewinnen und somit die zu prüfende Strecke weiter entfernt vom Stromein- und Stromaustrittsende annehmen können.

Wir führen also die Versuche, wie wir sie vorhin für den Nerven hingestellt haben, an prismatischen Stücken Rindfleisch aus, welche wir zu den verschiedensten Zeiten ($^1/_2$ Stunde bis 4 Tage) nach dem Schlachten des Thieres in möglichst gleicher Grösse, das eine der Fleischfaserung parallel, das andere senkrecht darauf, dicht neben einander ausgeschnitten haben. Jedes Fleischstück wird wie der Nerv den vier stumpfen Thonspitzenkanten aufgelagert und ruht mit seinen beiden Enden auf Glasplatten; *ac* ist $= db =$ c. 15^{mm}, $cd =$ c. 10^{mm} (vgl. Fig. 21.). Mit Hülfe momentaner Schliessungen und rascher Verstellung des Schiebers *S* (s. o. S. 238.) bestimmen wir, bei einem Daniell in der ungespaltenen Strecke des Strom-

netzes, in regelmässigen Zwischenräumen von 5 resp. 10 Minuten den Widerstand von *cd* und lassen hin und wieder in der Zwischenzeit zweier solcher Bestimmungen, nachdem wir die Unterbrechung bei *Q* hergestellt haben, *ab* vom Strome der mehrgliederigen Grove'schen Säule K_1 durchsetzt sein. Um vor Täuschungen durch die innere Polarisation des Muskelfleisches in Folge des Stromes von K_1 gesichert zu sein, bestimmen wir den Widerstand von *cd* jedesmal bei beiden Richtungen des Stromes von *K*.

Die Erfolge der Versuche sind ausnahmslos die, dass der Widerstand von *cd* nach der Durchströmung von *ab* wesentlich verringert sich ergiebt bei dem der Faserung parallel ausgeschnittenen Muskelstücke, vergrössert dagegen oder gar nicht verändert oder höchstens ein wenig verringert bei dem anderen Muskelstücke. Auch wenn die innere Polarisation des Muskelfleisches in Folge des Stromes von K_1 die Schieberstellung wesentlich beeinflusst, tritt die angegebene Verschiedenheit der Ergebnisse der Versuche scharf hervor. Der Widerstand von *cd* erscheint alsdann nach der Durchströmung von *ab* immer grösser, wenn der Prüfungsstrom dem Strome von K_1 in *cd* gleich, als wenn er ihm entgegengesetzt gerichtet ist; es zeigt aber bei dem der Faserung parallel ausgeschnittenen Muskelstücke nach der Durchströmung von *ab* die Schieberstellung bei beiden Richtungen des Stromes von *K* einen wesentlich kleineren Widerstand an als vor der Durchströmung, während bei dem anderen Muskelstücke höchstens die Schieberstellung bei der einen Stromrichtung einen etwas kleineren, die Schieberstellung bei der anderen Stromrichtung aber einen wesentlich grösseren Widerstand oder gar beide Schieberstellungen einen grösseren Widerstand nach der Durchströmung als vor derselben angeben. Die Widerstandsveränderung von *cd* unter dem Einflusse des Stromes von K_1 zeigt also, ganz wie wir es erwarteten, im Falle der auf die Faser senkrechten Durchströmung des Muskels einen positiven Zuwachs gegen den Fall der der Faser parallelen Durchströmung: der Widerstand des Muskels erfährt im ersten, nicht aber im zweiten Falle eine accessorische Zunahme, die Zunahme in Folge der Anhomogenität.[1]

1) In den folgenden Beispielen geben die nackt hingestellten Zahlen die bei den (momentanen) Widerstandsbestimmungen von *cd* gefundenen Schieberstellungen; der Strom von *K* floss bei (I) von *d* nach *c*, bei (II) von *c* nach *d*. — Als Vergleichswiderstand war eine weite, mit concentrirter Zinkvitriollösung gefüllte Glasröhre benutzt.

Versuch 153.

Von einem vor c. 24 Stunden geschlachteten Rinde

A. Senkrecht auf die Faserrichtung — *B.* Parallel der Faserrichtung
ausgeschnittenes Fleischstück.

3 *h.*	0 *m.*	469 (I); 467 (II).	4 *h.*	21 *m.*	456 (I); 455 (II).
	5 *m.*	467 (I, II).		25 *m.*	451 (I); 449 (II).

Die Versuche am Muskel sind übrigens, ausser dass sie den am Nerven unmöglichen Nachweis vollkommen ersetzen, noch in einer anderen Beziehung für uns werthvoll. Die Anatomie unterscheidet am Nerveninhalte die Markscheide und den Axencylinder. Man hätte daher die Anhomogenität des Nerven, um welche es hier sich handelt, nicht mit uns in der Verschiedenheit zwischen Nervenscheide und Nerveninhalt erkennen, sondern daneben noch oder gar ausschliesslich in der Verschiedenheit zwischen Markscheide und Axencylinder begründet annehmen können; und wir hätten damit vor der immer noch heiklen Frage gestanden, ob schon in der unversehrten lebenden Nervenfaser der Nerveninhalt in Markscheide und Axencylinder geschieden ist oder nicht. Jetzt ist durch die Ergebnisse am Muskel jene Annahme hinfällig geworden; denn die Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität tritt ebensowohl, wie bei dem Nerven, auch bei dem Muskel auf, obwohl bei diesem die Scheidung des Faserinhaltes, welche jener Annahme zu Grunde liegt, sicher nicht vorhanden ist.

3 *h*.	10 *m*.	467 (I, II).
		ab vom Strome von 4 Grove's während 5 Min. in der Richtung von *a* nach *b* durchflossen.
	15 *m*.	471 (I); 473 (II).
	20 *m*.	471 (I); 470 (II).
	30 *m*.	472 (I, II).
		ab während 10 Min. wie vorhin durchströmt.
	40 *m*.	476 (I); 474 (II).
	50 *m*.	475 (I); 474 (II).
4 *h*.	0 *m*.	476 (I); 475 (II).
		ab wie zuletzt durchströmt.
	10 *m*.	473 (I); 472 (II).
	20 *m*.	475 (I); 474 (II).
4 *h*.	30 *m*.	449 (I); 448 (II).
	35 *m*.	450 (I); 449 (II).
		ab vom Strome von 4 Grove's während 5 Min. in der Richtung von *a* nach *b* durchflossen.
	40 *m*.	435 (I); 434 (II).
	45 *m*.	437,5 (I); 436 (II).
	55 *m*.	440 (I); 438,5 (II).
5 *h*.	5 *m*.	441,5 (I); 440 (II).
		ab während 10 Min. wie vorhin durchströmt.
	15 *m*.	436 (I); 430,5 (II).
	25 *m*.	435 (I, II).

Versuch 154.

Von einem vor c. $1\frac{1}{2}$ Stunden geschlachteten Rinde

A. Senkrecht auf die Faserrichtung — *B*. Parallel der Faserrichtung ausgeschnittenes Fleischstück.

A.

4 *h*.	50 *m*.	981 (II); 994 (I).	[c. 2^{sc}.]
	55 *m*.	973 (II); 980 (I).	[c. 2^{sc}.]
5 *h*.	0 *m*.	969 (II); 976 (I).	[c. $1\frac{1}{4}^{sc}$.]
	5 *m*.	965 (II); 970 (I).	[c. $\frac{1}{2}^{sc}$.]
		ab während 5 Min. vom Strome von 6 Grove's in der Richtung von *b* nach *a* durchflossen.	
	10 *m*.	984 (II); 1018 (I).	[6—7^{sc}.]
	15 *m*.	975 (II); 988 (I).	[$2\frac{1}{2}^{sc}$.]
	20 *m*.	973 (II); 980 (I).	[$1\frac{1}{4}^{sc}$.]

B.

5 *h*.	25 *m*.	708 (II); 715 (I).	[$\frac{1}{8}$-$\frac{1}{4}^{sc}$.] (25–40 *m*.)
	30 *m*.	703 (II); 706 (I).	
	35 *m*.	704 (II); 707 (I).	
	40 *m*.	702 (II); 706 (I).	
		ab während 5 Min. vom Strome von 6 Grove's in der Richtung von *b* nach *a* durchflossen.	
	45 *m*.	651 (II); 713 (I).	[c. 10^{sc}.]
	50 *m*.	682 (II); 703 (I).	[c. 4^{sc}.]
	55 *m*.	700 (II); 706 (I).	[c. $1\frac{1}{2}^{sc}$.]

B war etwas dicker als *A*. In *B* entstanden bei der Schliessung und Oeffnung von K_1 sehr schwache Zuckungen, die jedoch auf die Gegend von *a* und *b* beschränkt blieben. — Die letzte Columne dieses Versuches enthält die Ablenkungen, welche bei der Oeffnung des Bussolen-Schlüssels vor jeder Widerstandsbestimmung beobachtet wurden.

Um über die Bedeutung der anatomischen Bestandtheile des Nerven für die uns beschäftigenden Erscheinungen sogleich vollständig in's Reine zu kommen, haben wir dann noch das Neurilemm (und Perineurium) in's Auge zu fassen. Die Wiederholung der Versuche der §§ 1 (2). und 4. des Kap. II. und des § 3. des Kap. III. an den neurilemmlosen Nervenfaser-Bündeln, welche nach *Harless*[1] aus den Muskeln herausgezogen sind, liefert die früheren Ergebnisse wieder; und die Widerstandszunahme, welche dabei zur Beobachtung kommt, ist, wie wir bald sehen werden, nichts Anderes als die Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität. Danach ist nicht daran zu denken, dass unsere Anhomogenität des Nerven, statt in der Verschiedenheit von Nervenscheide und Nerveninhalt, etwa in der Verschiedenheit von Neurilemm (mit Perineurium) und Nervenfaser gelegen sei: vielmehr wird das Neurilemm (und Perineurium) nur als Verdickung der Nervenscheide aufzufassen sein. Sowohl die Differenzirung der Nervenhüllen wie die etwaige Differenzirung des Nerveninhaltes ist also zunächst für uns bedeutungslos: ihr Einfluss auf die Flüssigkeitsfortführung im Nerven ist sicherlich sehr untergeordnet dem entsprechenden Einflusse der Verschiedenheit von Hülle und Inhalt und wird durch den letzteren vor der Hand ganz verdeckt.

Schliesslich entsteht nun die Frage, ob die Flüssigkeitsgehalts-Veränderung, welche unsere Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität bedingt, in der Nervenscheide oder im Nerveninhalte erfolgt. Diese Frage ist, weil trotzdem, dass bei der Nervenfaser und vollends bei der Muskelfaser die Scheide dem Inhalte an Dicke so sehr nachsteht, die Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität nicht nur überhaupt zu constatiren ist, sondern sogar in ansehnlicher Grösse sich darstellt, nach den betreffenden Erwägungen in (1) unbedingt dahin zu beantworten, dass es der Nerveninhalt ist, welcher die Flüssigkeitsgehalts-Veränderung erfährt. Dies zu wissen, ist für uns von Wichtigkeit: nebenbei gewinnen wir aber noch ein anderes interessantes Ergebniss. Indem nämlich das eben Erschlossene nichts Anderes besagt, als dass die fortgeführte Flüssigkeitsmenge unter sonst gleichen Umständen in dem Nerveninhalte grösser ist als in der Nervenscheide, muss weiter, weil dieselbe Flüssigkeit die Hohlräume des Inhaltes und der Scheide erfüllt, das Gerüst der Nervenscheide entweder von geringerem specifischen Widerstande sein oder minder enge resp. minder zahlreiche Capillarröhrchen besitzen als das Gerüst des Nerveninhaltes. Wegen des ungemein grossen specifischen Widerstandes des Gerüstes bei den Thiergeweben im Allgemeinen hat die letztere Möglichkeit die grösste Wahrscheinlichkeit für sich. Wie dem aber auch sei, jedenfalls

1) S. o. S. 230. Anm.

stellt sich heraus, dass die Leitungsfähigkeit der Scheide grösser ist als die des Inhaltes. Es ist dies im Einklange mit der gelegentlichen Angabe von *Pflüger*, dass »das durchtränkte Bindegewebe beträchtlich besser leitet, als die Nervenfasern«[1], einer Angabe, über deren Ursprung und experimentelle Stützen Nichts sich hat ermitteln lassen.

(b. Bewährung an anderen anhomogenen feuchten porösen Körpern. Vom sogenannten inneren secundären Widerstande.)

Anderweitige Bewährungen der Ergebnisse der Anschauung in (1) ausser am Nerven und Muskel noch eigens aufzusuchen, würde uns vom eigentlichen Gegenstande unserer Bemühungen zu weit abführen. Es trifft sich daher gut, dass wir solche Bewährungen wiederum bereits vorliegend finden in den Erfahrungen *du Bois-Reymond's* an frischen Stücken Kartoffel, Mohrrübe, Petersilienwurzel, Begoniastiel, Apfel und Birne.

Die genannten Pflanzentheile bestehen aus der Kugelform sich nähernden, bald mehr bald weniger abgeplatteten Zellen, an deren jeder der verhältnissmässig umfangreiche Zelleninhalt von einer dünnen Zellmembran umschlossen ist; und Zelleninhalt und Zellmembran[2] sind feuchte poröse Körper, deren Gerüst nach den Ergebnissen der mikroskopischen Untersuchung sicherlich von verschiedenem Bau ist, deren Flüssigkeit aber, weil der Stoffwechsel des Zelleninhaltes durch die Zellmembran hindurch erfolgt, nicht wesentlich verschieden sein kann. Wir haben also in jenen Pflanzentheilen feuchte poröse Körper vor uns, zusammengesetzt aus zwei Substanzen, welche in verschieden gebauten Gerüsten die gleiche Flüssigkeit enthalten, und von welchen die eine in dünnen und mehr oder weniger unregelmässig, zickzackförmig verlaufenden Längs- und Querscheidewänden die andere Substanz durchsetzt. Bei diesen Körpern muss nach (1), in welcher Richtung auch der Strom dieselben durchfliessen mag, die Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität eintreten; und zwar muss die Widerstandszunahme bei linearer Durchströmung des prismatischen Körpers in allen der Untersuchung zugänglichen gleichlangen Abschnitten desselben von gleicher Grösse sein. Dies hat denn auch bei den Untersuchungen *E. du Bois-Reymond's* sich ergeben. Denn es ist eine durch den Strom herbeigeführte Widerstandszunahme in jedem Längenelemente des Körpers gefunden worden, welche mit der Stromdauer und der Stromdichte im Körper wuchs, von der Richtung des Stromes im Körper unabhängig zu sein schien, nach der Unterbrechung des Stromes und auch in

1) *Pflüger*, Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus. S. 143 *.

2) Die benachbarten Zellmembranen fassen wir wiederum, wie oben S. 456. die benachbarten Nervenscheiden, als ein Ganzes auf.

der ersten Zeit nach der Umkehrung der Stromrichtung abnahm, endlich keine bemerkbare Abstufung von dem einen Ende des Körpers zum anderen hin zeigte[1].

Indessen sind die Dinge hier nicht ganz ohne Verwickelungen. Fassen wir zunächst die einzelne Zelle in's Auge, so ist der Zelleninhalt, den wir für einen einfachen feuchten porösen Körper genommen haben, in Wirklichkeit aus dem Protoplasma — von dem nicht immer eingeschlossenen Zellenkerne dürfen wir absehen — und dem Zellsafte zusammengesetzt. Einfache Ueberlegungen ergeben nun, dass, wenn am Stromein- und Stromaustrittsende der Zelle das Protoplasma, das zweifellos ein feuchter poröser Körper ist und dessen Flüssigkeit von der der Zellmembran und des Zellsaftes nicht wesentlich verschieden sein kann, der Zellmembran anliegt, die Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität ebensogut auftreten muss, wie wenn der ganze Zelleninhalt aus Protoplasma bestände. Wenn dagegen am Stromein- und Stromaustrittsende der Zelle der Zellsaft mit der Zellmembran in Berührung ist, scheint auf den ersten Blick nach den Ermittelungen im § 2. unmöglich eine Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität auftreten zu können; denn selbst wenn man den Zellsaft wegen der in ihm enthaltenen Körper, der Amylum-, Chlorophyll- u. a. Körner, (nach Analogie der Sand- und Schwefelbreie [s. o. S. 8—9; 442.]) als einen feuchten porösen Körper mit nicht zusammenhängendem Gerüste auffasst, ist es nicht denkbar, dass der Zellsaft mit den grossen Flüssigkeitsmengen zwischen den einzelnen Körnern gegen das Protoplasma und die Zellmembran mit ihren unsichtbaren, von Flüssigkeit erfüllten Hohlräumen anders als eine freie Flüssigkeit sich verhalten sollte. Es ist jedoch zu erwägen, dass die Körner des Zellsaftes unter dem Einflusse des Stromes nach dem Stromeintrittsende des Zellsaftes hin wandern[2]: dadurch muss der Querschnitt der Flüssigkeit des Zellsaftes am Stromeintrittsende kleiner und am Stromaustrittsende grösser werden und der Widerstand des Zellsaftes zunehmen. In diesem Falle hat also die Beweglichkeit der Gerüsttheilchen denselben Erfolg, wie sonst die grössere Enge resp. die grössere Zahl der Capillarröhrchen des Gerüstes. Beiläufig bemerken wir, dass, indem die Folgen der Wanderung der Zellsaftkörner auch nicht ausbleiben können, wenn das Protoplasma der Zellmembran anliegt, offenbar

1) *E. du Bois-Reymond*, Ueber den secundären Widerstand u. s. w. A. a. O. S. 858—71*; 889—96*. — S. oben S. 9—10.

2) Ich habe in Kartoffelzellen bei dem Strome einer 4—10 gliederigen Grove'schen Säule die Amylumkörner ausschliesslich im Sinne der negativen Elektricitätsströmung sich fortbewegen sehen, wie es auch von *du Bois-Reymond* (Ueber den secundären Widerstand u. s. w. A. a. O. S. 894—5*) angegeben ist. — Ueber die Wanderung der in Flüssigkeiten suspendirten Körperchen im Allgemeinen siehe *G. Quincke*, Poggendorff's Annalen u. s. w. Bd. 113 (1861). S. 565 ff.* — *Wiedemann*, Die Lehre vom Galvanismus u. s. w. Bd. II. S. 1084—9*.

in eben diesem Falle die Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität grösser wird sein müssen, als wenn der Zellsaft mit der Zellmembran in Berührung ist.

Eine zweite Verwickelung bietet dann der Umstand, dass die Zellen der genannten Pflanzentheile mit ihren Stromein- und Stromaustrittsenden in der Richtung des Stromes nie in gleicher Höhe liegen. Wäre die Anordnung der Zellen eine ganz unregelmässige, so könnte in der That, trotz der Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität an jeder einzelnen Zelle, an der Zellenmasse doch diese Widerstandszunahme ausbleiben, indem in jedem senkrechten Querschnitte der Strombahn der Flüssigkeitsverlust der einen Zelle durch den Flüssigkeitsgewinn der anderen Zelle compensirt sein könnte. In Wirklichkeit sind aber die Zellen mehr oder weniger regelmässig so angeordnet, dass etwa mit der Mitte der einen Zelle die Enden der Nachbarzellen in gleicher Höhe liegen: die Compensation, an welche wir eben gedacht haben, kann daher höchstens theilweise statthaben, und die Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität muss auch an der ganzen Zellenmasse zur Beobachtung kommen.

Eine Gestaltsveränderung kann in Folge der Durchströmung begreiflich weder an der einzelnen Zelle noch an der ganzen Zellenmasse eintreten. Wollte man aus dem Ausbleiben derselben aber einen Einwand gegen die Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität entnehmen, indem man darauf fusste, dass wir im § 2. bei nicht starrem Gerüste mit der Verarmung des Versuchskörpers an Flüssigkeit eine Verengung und mit dem Reicherwerden an Flüssigkeit eine Anschwellung des Versuchskörpers an der betreffenden Stelle verbunden gefunden haben, so würde man ganz übersehen, dass der Flüssigkeitsverlust der Zelle am Stromeintrittsende und ihr Flüssigkeitsgewinn am Stromaustrittsende ohne jede Gestaltsveränderung der Zelle erfolgen können unter Verschiebung der Gerüsttheilchen nach dem Stromeintrittsende hin und dass durch diese Verschiebung eine Widerstandszunahme der Zelle bedingt sein muss. Ja, es lässt sich sogar auf Grund der eigenthümlichen Bedingungen, an welche die Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität geknüpft ist, mit Sicherheit vorhersagen, dass in den meisten der Fälle, in welchen diese Widerstandszunahme auftreten wird, nur eine Verschiebung der Flüssigkeit der porösen Substanz im Gerüste und nicht eine Gestaltsveränderung der ganzen porösen Substanz wird erfolgen können.

Du Bois-Reymond hat die eben behandelte Widerstandszunahme, welche er an frischen Stücken Kartoffel, Mohrrübe u. s. w. aufgefunden hatte, im Gegensatze zu dem oben im § 2 (2 b) besprochenen äusseren secundären Widerstande inneren secundären Widerstand genannt. Ein Verständniss des inneren secundären Widerstandes ist nicht gewonnen

worden. »Dass dieser Widerstand bis jetzt nur am frischen Pflanzengewebe beobachtet ist«, sagt *du Bois-Reymond*[1] am Schlusse seiner theoretischen Erörterungen, »bricht überhaupt den Stab allen solchen Vermuthungen hinsichtlich des inneren secundären Widerstandes, die auf beliebige, mit Elektrolyten getränkte Capillar-Aggregate passen. Es ist vielmehr klar, dass es hier zunächst einer Annahme bedarf, wodurch wenigstens diese Art feuchter poröser Körper vorweg ausgeschlossen werde. Eine solche Annahme würde jetzt z. B. sein, dass der innere secundäre Widerstand auf der häufigen Wiederholung der Bedingungen des äusseren secundären Widerstandes im Inneren eines Körpers beruhe, insofern man nämlich als allgemeinste Vorbedingung des äusseren secundären Widerstandes irgend welche Discontinuität der Leitung hinstellen kann. Allein es möchte schwer sein, in den frischen Pflanzengeweben eine sich oft wiederholende Discontinuität der Leitung zu entdecken, welche sich erstens auch nur einigermassen dem vergleichen liesse, was wir zur Erzeugung des äusseren secundären Widerstandes als nöthig erkannt haben, und welche sich zweitens nicht auch in den des inneren secundären Widerstandes unfähigen Thiergeweben nachweisen liesse.«

Im Anschlusse an diese Worte lassen sich die Gründe, weshalb die theoretischen Bemühungen *du Bois-Reymond's* in Betreff seines inneren secundären Widerstandes nicht von Erfolg haben sein können, folgendermassen angeben. Erstens war die Kenntniss des äusseren secundären Widerstandes zu mangelhaft und zwar hier mangelhaft nicht aus den oben im § 2 (2 b) betonten Gründen, sondern deshalb, weil an die unzureichende Zufuhr vom porösen Zuleiter her — bei der gleichen Flüssigkeit im Zuleiter wie im Versuchskörper — als an eine mögliche Ursache des äusseren secundären Widerstandes nicht gedacht worden war. Zweitens war die durch den Strom in jedem Abschnitte des Versuchskörpers herbeigeführte Widerstandszunahme nur dann immer constatirt worden, wenn sie die Widerstandsabnahme in Folge der Erwärmung (und der Elektrolyse) übertraf und somit geradezu eine Widerstandszunahme des Körperabschnittes unter dem Einflusse des Stromes zur Beobachtung kam; sie war dagegen übersehen worden in manchen Fällen, in welchen sie der Widerstandsabnahme in Folge der Erwärmung unterlag und nur eine gegen die letztere verkleinerte Widerstandsabnahme des Körperabschnittes unter dem Einflusse des Stromes sich zeigte.

Aus dem letzteren Grunde ist der Glaube entstanden, dass die Thiergewebe der Widerstandszunahme durch den Strom in jedem Längenabschnitte unfähig seien. Denn wenn *du Bois-Reymond* bei dem senkrecht

1) Ueber den secundären Widerstand u. s. w. A. a. O. S. 896*.

auf die Faserrichtung durchströmten Muskelfleische ebensowenig wie bei dem parallel der Faserrichtung durchströmten inneren secundären Widerstand gefunden hat[1], so lässt sich nach unseren Erfahrungen in (a) nur annehmen, dass bei dem ersteren Muskelfleische unter den Bedingungen von *du Bois-Reymond's* Versuchen die Widerstandsabnahme in Folge der Erwärmung nie durch die Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität überwunden worden ist; und wohlbegründet ist die Vermuthung, dass bei dem Rückenmarke und dem Knorpel nur das Gleiche stattgehabt hat[1]. Auch ist wahrscheinlich demselben Umstande die Angabe zuzuschreiben, dass an Stücken Kartoffel, Begoniastiel u. s. w. nach 10 Minuten langem Aufenthalte in siedendem Wasser die Widerstandszunahme durch den Strom in jedem Längenabschnitte nicht mehr eintreten soll[1]. Durch das Kochen erfolgen im Zelleninhalte, wie dessen Trübung beweist, Gerinnungen, schwellen bei der Kartoffel die Amylumkörner ungemein an, nimmt nach *du Bois-Reymond* der Leitungswiderstand der Pflanzentheile ab[2], u. s. w.; und eine geringere Grösse der Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität bei den gekochten Pflanzentheilen den frischen gegenüber ist danach wohl denkbar: indessen wird das gänzliche Ausbleiben der Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität bei den gekochten Pflanzentheilen, bis neue Untersuchungen Gewissheit schaffen, mit gutem Grunde bezweifelt werden dürfen, weil der zellige Bau der Pflanzentheile durch das Kochen nicht aufgehoben wird.

Die Anhänglichkeit an Hergebrachtes lässt uns noch bedenken, ob etwa unserer Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität fortan die Bezeichnung »innerer secundärer Widerstand« beizulegen wäre. Allein nicht nur hat oben S. 436. die Bezeichnung »äusserer secundärer Widerstand« als fernerhin unmöglich sich erwiesen: es würde auch, wie sich bald zeigen wird, eine Widerstandszunahme des Nerven, welche im Sinne *du Bois-Reymond's* als äusserer secundärer Widerstand hätte angesprochen werden müssen, gerade als innerer secundärer Widerstand sich herausstellen. Danach wäre unsere Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität höchstens »secundärer Widerstand« zu nennen. Es ist jedoch offenbar vortheilhaft, auch diese Bezeichnung zu unterlassen, um nicht mit der Erinnerung an die älteren Auffassungen in die verwickelten Dinge, welche zu entwirren uns eben gelungen ist, von Neuem Verwirrung hineinzutragen.

1) Ebenda S. 865*.

2) *E. du Bois-Reymond*, ebenda. — *G. J. Ranke*, Der galvanische Leitungswiderstand u. s. w. S. 52—4*; Tetanus, S. 61—2*.

Alle bisherigen Bewährungen der Voraussicht in (1) betrafen den dort als ersten hingestellten der drei möglichen Fälle: und dieser Fall ist auch, weil er den Nerven umfasst, ausschliesslich für uns von Interesse. Nebenbei aber müssen wir hier noch einer Erfahrung gedenken, welche man bei den voraufgegangenen Untersuchungen gelegentlich gewinnt und welche höchstwahrscheinlich eine Bewährung des zweiten Falles von (1) ist.

In den §§ 1. und 4. des Kap. II. haben wir die Widerstandsveränderungen kennen gelernt, welche unsere Zuleitungsröhren mit Thonspitzen unter dem Einflusse des Stromes erfahren, wenn ihre unteren Enden in geringer Ausdehnung durch leichten Fingerdruck vereinigt sind; und jene Widerstandsveränderungen sind, wie wir nunmehr hinzufügen können, ganz in Uebereinstimmung mit unseren Ermittelungen im § 2. Ebenso gestalten sich die zur Beobachtung kommenden Widerstandsveränderungen, wenn man die Enden eines grösseren Stückes mit 1 %iger Kochsalzlösung angeriebenen Thones in die unteren Enden der Glasröhren von z und z_1 (Fig. 1.) hineindrückt, so dass, nachdem die Glasröhren mit Zinkvitriollösung gefüllt worden sind, zwischen dieser Lösung eine unregelmässig gestaltete Thonmasse sich befindet. Man kann auch weiter der Thonmasse jede beliebige andere Gestalt ertheilen, ohne dass an den Widerstandsveränderungen während der Durchströmung eine wesentliche Abweichung auftritt. Eine solche Abweichung zeigt sich aber unter Umständen dann, wenn man an den Zuleitungsröhren, wie sie für die Versuche am Nerven im § 1. des Kap. II. vorbereitet worden sind, die Thonspitzen nur in Berührung mit einander gebracht hat oder wenn man auf die Thonspitzen der Zuleitungsröhren einen Cylinder von demselben Thone mit mittleren Stellen seiner Länge aufgelagert hat. Der Widerstand nimmt alsdann nämlich unmittelbar nach der Schliessung der Kette beträchtlicher als sonst und eine längere Zeit hindurch zu, ehe er abnimmt; und wenn man zu der Zeit, zu welcher die Widerstandsabnahme nur noch sehr langsam erfolgt, die Stromrichtung umkehrt, nimmt der Widerstand in den ersten Minuten rasch und beträchtlich ab, und darauf geht die Widerstandsabnahme wieder nur so langsam, wie vor der Umkehrung der Stromrichtung, vor sich. Hätte nun auch die anfängliche grössere Zunahme nach der Schliessung der Kette an und für sich auf Rechnung der inneren Polarisation sich setzen lassen, so geht dies doch offenbar wegen der anfänglichen raschen Abnahme nach der Umkehrung der Stromrichtung nicht an; denn eine beträchtlichere innere Polarisation hätte gerade eine beträchtlichere anfängliche Zunahme des Widerstandes nach der Umkehrung vortäuschen müssen. Es ist vielmehr ausser Zweifel, dass in diesen Fällen eine accessorische Widerstandszunahme am Thone eintritt, und zwar eine solche, welche nicht in Veränderungen des Stromein- und Stromaustritts-

endes der ganzen Thonmasse begründet ist, einem homogenen feuchten porösen Körper also nicht zusteht. Und damit stimmt es auch überein, dass die Abweichung desto häufiger zur Beobachtung kommt, mit je kleineren Flächen die Thonspitzen einander oder den Thoncylinder berühren. Verknetet man den Thoncylinder an den Berührungsstellen mit den Thonspitzen durch leichten Fingerdruck, so bleibt die Abweichung aus.

Welche Bewandtniss es mit der Abweichung habe, dafür giebt einen ausreichenden Fingerzeig die Bemerkung, dass die Abweichung nur dann sich findet, wenn die Zuleitungsröhren nicht frisch hergestellt, sondern schon einige Zeit in einem mit Wasserdampf nicht gesättigten Raume aufbewahrt worden sind. Die Erklärung der Abweichung ist danach mit der grössten Wahrscheinlichkeit die, dass durch die Wasserverdunstung die Salzlösung an der Oberfläche der Thonspitzen concentrirter wird und in Folge dessen unter der Einwirkung des Stromes eine stellenweise Verarmung der Thonmasse an Flüssigkeit, nämlich immer in der Richtung des Stromes jenseits der die concentrirtere Lösung enthaltenden Thonschichten, sich bildet, eine Verarmung, die allerdings wegen der geringen Weichheit des Gerüstes des Modellirthones (s. o. S. 442.) immer nur unbedeutend ist. Es ist hier also der zweite der drei möglichen Fälle von (1) verwirklicht, nur dass, was natürlich Nichts zur Sache thut, die concentrirtere Flüssigkeit ein oder höchstens zwei Mal in der anscheinend homogenen Thonmasse die weniger concentrirte Flüssigkeit unterbricht. Dass das Zusammenkneten die Abweichung beseitigt, ist dann sehr leicht begreiflich dadurch, dass die jähen Concentrationsunterschiede auf verschiedene Querschnitte der Strombahn vertheilt und mehr oder weniger auch aufgehoben werden.

Eine ähnliche Anhomogenität, wie eben bei dem Thone, ist auch bei anderen scheinbar homogenen feuchten porösen Körpern, z. B. den Eiweisscylindern (vgl. o. S. 421; 439.), denkbar, und es wird bei genaueren Untersuchungen dieser Körper wohl darauf zu achten sein. Bei unseren Untersuchungen ist die in Rede stehende Anhomogenität Veranlassung gewesen, dass wir aus Vorsicht bei den Versuchen S. 35 ff., S. 205. und S. 417. die Thonstücke an den Berührungsstellen durch leichten Fingerdruck vereinigt haben, bei den Versuchen S. 35 ff. und S. 205. natürlich nur in geringer Ausdehnung, damit die Versuche wirklich leisteten, was sie sollten. An irgendwelche Beeinflussung der Ergebnisse unserer am Nerven ausgeführten Versuche durch jene Anhomogenität ist nicht zu denken, weil für diese Versuche die Zuleitungsröhren in der Regel frisch hergestellt und anderenfalls nach der Herstellung in einem mit Wasserdampf gesättigten Raume aufbewahrt worden waren. Uebrigens mag noch bemerkt sein, dass die accessorische Widerstandszunahme bei den abweichenden Thon-Versuchen, die aus der raschen Widerstandsabnahme nach

der Umkehrung der Stromrichtung gut zu bestimmen ist, immer weniger als ¼ Meile T.-D. betragen hat.

(3.) Was die Anschauung weiter über die Folgen der Anhomogenität des Nerven ergiebt.

Nachdem wir soweit die Folgen der Anhomogenität — wir verstehen hierunter fortan die durch die Anhomogenität bedingten Besonderheiten in der Flüssigkeitsfortführung und ihren Folgen — bei verschiedenen Körpern betrachtet haben, müssen wir uns noch der weiteren Verfolgung derselben bei dem uns vornehmlich interessirenden Nerven zuwenden. Denn bei genauerem Zusehen stellt nur als bedingt richtig sich heraus, was wir oben S. 455. gesagt haben, dass durch die alineaře Durchströmung des anhomogenen Körpers der linearen Durchströmung gegenüber nur die Grösse der Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität beeinflusst sei, und erscheint es nicht gerechtfertigt, dass wir in der unerwarteten accessorischen Widerstandszunahme des § 2 (4) oben S. 456. ohne Weiteres die Widerstandszunahme in Folge der Anhomogenität erkannt haben. Hier bleibt noch eine Lücke auszufüllen, und gerade in dieser Lücke liegt das für uns wichtigste Ergebniss, dessen grosse Bedeutung aus der späteren Folge hervorgehen wird.

Wie die Anschauung lehrt, sind mit dem Flüssigkeitsverluste am Stromeintrittsende und dem Flüssigkeitsgewinne am Stromaustrittsende jeder einzelnen Nervenfaser, deren Hülle und Inhalt nach einander der Strom durchsetzt, die Folgen der Anhomogenität nur dann abgeschlossen und vollkommen gegeben, wenn die Stromfäden, welche wir in der einzelnen Nervenfaser immer geradlinig annehmen, sämmtlich normal die Axe der Faser schneiden, wie es z. B. bei denjenigen Versuchen der Fall gewesen wäre, an deren Stelle oben S. 457. die Versuche am Muskel treten mussten. Ist aber die eben angezeigte Bedingung nicht erfüllt, so wird zwar die unmittelbare Folge der Anhomogenität gleichfalls sein, dass der Inhalt jeder Nervenfaser, wo ein Stromfaden aus der Hülle eintritt, an Flüssigkeit verarmt und, wo ein Stromfaden in die Hülle austritt, an Flüssigkeit reicher wird; aus dieser unmittelbaren Folge im Verein mit der Richtung, in welcher die Nervenflüssigkeit durch die Stromfäden fortgeführt wird, werden jedoch noch mannigfache mittelbare Folgen der Anhomogenität sich ergeben, Folgen, welche den Flüssigkeitsgehalt der (senkrechten) Querschnitte der Nervenfasern — d. h. natürlich der Nerveninhalte — betreffen.

Halten wir uns mit unseren Betrachtungen zunächst an irgend eine einzelne in ihrer ganzen Länge durchströmte Nervenfaser, so wird, wenn die Stromfäden sämmtlich unter rechtem Winkel die Axe der Faser schnei-

den, wohl die Vertheilung der Flüssigkeit in jedem einzelnen Querschnitte der Faser sich ändern, nicht aber der Flüssigkeitsgehalt des ganzen Querschnittes, und somit wird auch der Flüssigkeitsgehalt aller Querschnitte der Faser der gleiche bleiben. Anders wird es sein, wenn die Stromfäden sämmtlich parallel sind, aber einen schiefen Winkel mit der Axe der Faser bilden: die mittleren Querschnitte der Faser werden zwar auch hier noch von gleichem Flüssigkeitsgehalte bleiben, die äussersten Querschnitte aber werden vom einen Ende der Faser aus an Flüssigkeit verarmen, vom anderen Ende der Faser aus an Flüssigkeit reicher werden; und zwar werden die Zahl der in ihrem Flüssigkeitsgehalte veränderten Querschnitte und die Veränderung des Flüssigkeitsgehaltes des einzelnen Querschnittes mit der Stromdauer wachsen. Divergiren die Stromfäden in der Nervenfaser, d. h. schneiden sich die Stromfäden in einem Punkte der Stromeintrittsseite der Faser oder würden ihre Verlängerungen in einem ausserhalb der Faser auf der Stromeintrittsseite gelegenen Punkte sich schneiden, so werden von da aus, wo die Stromfaden-Richtung der auf die Faseraxe senkrechten am nächsten kommt, nach den Enden der Faser hin die Querschnitte der Faser an Flüssigkeit ärmer werden, die Verarmung der Querschnitte wird mit zunehmender Entfernung von jenem Punkte abnehmen, und die darauf folgenden Querschnitte werden an Flüssigkeit zunehmend oder zuerst zunehmend und darauf abnehmend reicher werden. Endlich wird gerade das Entgegengesetzte in Bezug auf Verarmung und Reicherwerden der Querschnitte der Fall sein, wenn die Stromfäden in der Nervenfaser convergiren, also wenn sie selbst in einem Punkte der Stromaustrittsseite der Faser zusammentreffen oder wenn ihre Verlängerungen in einem Punkte ausserhalb der Faser auf der Stromaustrittsseite sich schneiden würden. Und auch in den beiden letzten Fällen werden die Zahl der in ihrem Flüssigkeitsgehalte veränderten Querschnitte und die Veränderung des Flüssigkeitsgehaltes des einzelnen Querschnittes mit der Stromdauer zunehmen.

Um danach am Nerven die in Rede stehenden mittelbaren Folgen der Anhomogenität zu übersehen, denken wir uns durch die Ebenen der Figg. 24 *A*. und 26. eine ganze Anzahl den langen Seiten der Ebenen paralleler Linien in ohngefähr gleichen Abständen gelegt: die Linien stellen dann die Durchschnitte der Hüllen, ihre Zwischenräume die Durchschnitte der Inhalte der Nervenfasern vor. Auf die Untersuchung der Folgen in den Ebenen der Figuren dürfen wir uns beschränken, weil in allen parallelen Durchschnittsebenen innerhalb der uns gesteckten Grenzen der Genauigkeit die Folgen dieselben sein werden (vgl. o. S. 416.). Wir betrachten nur zweierlei Durchströmungen des Nerven, die Längsdurchströmung, bei welcher die Zu- und Ableiter des Stromes auf derselben Seite des Nerven neben einander sich befinden, so dass ihre Verbindungslinie der Axe des

Nerven parallel ist, und die Querdurchströmung, bei welcher die Zu- und Ableiter des Stromes einander gegenüber dem Nerven so angelagert sind, dass ihre Verbindungslinie senkrecht auf der Axe des Nerven steht. Mit den Folgen bei der Längsdurchströmung werden uns auch die Folgen bei derjenigen Durchströmung gegeben sein, bei welcher der Zu- oder Ableiter des Stromes der Querschnittfläche des Nerven in ganzer Ausdehnung anliegt und der Ab- resp. Zuleiter einer Stelle im Verlaufe des Nerven angelagert ist, da alsdann Alles so, wie in der Austritts- resp. Eintrittshälfte des Nerven bei der Längsdurchströmung, sich verhalten wird (vgl. o. S. 418.); und aus den Folgen bei der Längs- und bei der Querdurchströmung werden die Folgen bei der schrägen Durchströmung des Nerven, so genau diese zu kennen für uns von Interesse ist, ohne Weiteres sich entnehmen lassen. Der Kürze halber wollen wir die Fasern und die Fasertheile hinsichts ihrer Lage im genauen Anschlusse an die Figuren bezeichnen.

Bei der Querdurchströmung (Fig. 26.) divergiren in den oberen Fasern die Stromfäden, in den mittelsten Fasern stehen sie senkrecht auf der Faseraxe, in den unteren Fasern convergiren sie. In den mittelsten Fasern wird daher der Flüssigkeitsgehalt aller Querschnitte unverändert bleiben; in den oberen Fasern werden von der Mitte aus nach beiden Seiten hin die Querschnitte an Flüssigkeit verarmen, ihre Verarmung wird mit wachsendem Abstande von der Mitte bis auf Null abnehmen, und die folgenden Querschnitte werden zuerst zunehmend und darauf abnehmend an Flüssigkeit reicher werden; in den unteren Fasern werden von der Mitte aus nach beiden Seiten hin die Querschnitte an Flüssigkeit reicher werden, ihr Flüssigkeitsgewinn wird mit wachsendem Abstande von der Mitte bis auf Null abnehmen, und die folgenden Querschnitte werden zuerst zunehmend und darauf abnehmend an Flüssigkeit verarmen. Weil aber, je näher einer der langen Seiten der Ebene eine Faser gelegen ist, die Stromfäden in der Faser desto divergenter resp. convergenter sind und die Stromdichte im mittelsten Querschnitte der Faser desto grösser ist und nach den Seiten hin desto jäher abnimmt, wird nicht nur der Flüssigkeitsverlust resp. Flüssigkeitsgewinn des mittelsten Querschnittes in der obersten resp. untersten Faser am grössten sein und mit dem Abstande von dieser Faser in den anderen oberen resp. unteren Fasern rasch abnehmen, sondern es wird auch die Abnahme der Verarmung resp. des Reicherwerdens in der einzelnen Faser von der Mitte aus nach den Seiten hin desto jäher erfolgen und das Reicherwerden resp. die Verarmung der folgenden Querschnitte desto eher auftreten und desto grösser sein, je mehr nach aussen die Faser gelegen ist. Mit der Stromdauer werden die Zahl in den oberen Fasern der verarmenden, in den unteren Fasern der reicher werdenden Querschnitte

und die Flüssigkeitsgehalts-Veränderung des einzelnen Querschnittes wachsen.

Bei der Längsdurchströmung (Fig. 24 A.) sind in allen Fasern die Stromfäden in der linken Seitenhälfte divergent, in der rechten Seitenhälfte convergent. Die Divergenz resp. Convergenz ist in der untersten Faser am grössten und nimmt nach oben hin ab; jederseits geht der auf die Faseraxe senkrechte Stromfaden in der untersten Faser, den mittleren Stromfäden des ganzen Stromfaden-Bündels angehörig, durch die Stromein-resp. Stromaustrittsstelle der Ebene und rückt mit wachsendem Abstande der Faser von der unteren langen Seite der Ebene sowohl in der Faser wie im Stromfaden-Bündel rasch nach aussen, so dass in den oberen Fasern die äussersten Stromfäden die Faseraxe normal schneiden; die innersten Stromfäden werden in allen Fasern durch die leichte Krümmung der Stromfäden, welche wir sonst für die einzelne Faser vernachlässigen dürfen, der Faseraxe parallel und gehen von beiden Seitenhälften her in einander über. In der linken Seitenhälfte werden daher folgende Veränderungen Platz greifen. Die Querschnitte aller unteren Fasern werden von da aus, wo der Stromfaden auf der Faseraxe senkrecht steht, nach innen wie nach aussen hin einen Flüssigkeitsverlust erfahren, der an der Stelle des senkrechten Stromfadens am grössten sein und nach jeder Seite hin bis auf Null abnehmen wird; die danach folgenden Querschnitte werden zuerst zunehmend und darauf abnehmend an Flüssigkeit reicher werden. In den oberen Fasern wird ein Flüssigkeitsverlust diejenigen Querschnitte betreffen, welche nach innen von dem auf der Faseraxe senkrechten Stromfaden gelegen sind, und zwar wird der Verlust mehr oder weniger weit nach innen von dem auf der Faseraxe senkrechten Stromfaden am grössten sein und nach beiden Seiten hin allmählich abnehmen, nach aussen hin nur bis zu einer gewissen Grösse, nach innen hin bis auf Null; und die nach innen folgenden Querschnitte der Fasern werden wiederum zuerst zunehmend und darauf abnehmend an Flüssigkeit reicher werden. Der Flüssigkeitsverlust des am meisten verarmenden Querschnittes der einzelnen Faser wird dabei in der untersten Faser am grössten sein und nach oben hin abnehmen. In allen Fasern werden aber weiter gerade diejenigen Querschnitte, welche, nach innen von den verarmenden Querschnitten gelegen, eben an Flüssigkeit gewinnen sollten, wiederum eine Einbusse an Flüssigkeit erleiden durch den allmählichen Uebergang der Divergenz der Stromfäden in den Parallelismus mit der Faseraxe: so dass der Flüssigkeitsgehalt dieser Querschnitte doch gar keine oder nur eine geringe Veränderung erfahren wird. Wo die Stromfäden der Faseraxe parallel sind, wird der Flüssigkeitsgehalt der Querschnitte unverändert bleiben. Endlich wird in den unteren Fasern noch eine besondere Flüssigkeitsgehalts-Veränderung der Querschnitte da-

durch bedingt sein, dass die Stromdichte in der Faser von der Stelle des senkrechten Stromfadens aus nach innen hin zuerst abnimmt und danach wieder zunimmt: Veränderungen der Stromdichte, welche desto grösser sind und desto jäher erfolgen, je weniger weit die Faser von der unteren langen Seite der Ebene entfernt ist. Es werden deshalb in den unteren Fasern von der Stelle des senkrechten Stromfadens aus nach innen hin der ersten Verarmung mit dem nachfolgenden Reicherwerden der Querschnitte im Verlaufe der Faser sogleich eine neue Verarmung und ein neues Reicherwerden, beide zuerst zunehmend und darauf bis Null abnehmend, folgen; und alle diese Flüssigkeitsgehalts-Veränderungen werden desto grösser und auf eine desto kürzere Faserstrecke zusammengedrängt sein, je näher die Faser der unteren langen Seite der Ebene gelegen ist. — Dieselben Veränderungen, wie in der linken, werden dann in der rechten Seitenhälfte eintreten, nur dass, wo links eine Verarmung, rechts ein Reicherwerden und, wo links ein Reicherwerden, rechts eine Verarmung an Flüssigkeit statthaben wird. Mit der Stromdauer werden wiederum die Zahl linkerseits der verarmenden, rechterseits der reicherwerdenden Querschnitte und die Flüssigkeitsgehalts-Veränderung des einzelnen Querschnittes wachsen.

Doch können alle diese Ergebnisse der Ueberlegung nur auf ohngefähre Richtigkeit Anspruch machen wegen der Unkenntniss, in welcher wir uns hinsichts des Verhaltens der Capillarröhrchen in der Nervenfaser befinden. Wir wissen hierüber nicht mehr auszusagen, als dass die Röhrchen nicht sämmtlich eine und dieselbe Richtung einhalten können, sondern sowohl der der Faseraxe parallelen wie der auf die Faseraxe senkrechten Richtung sich nähern müssen, weil wir, um den uns nächsten Grund heranzuholen, bei den Versuchen der §§ 2. und 3. des Kap. V. die Zuleiter-Flüssigkeit, welche die Nervenflüssigkeit chemisch veränderte, der Länge wie der Quere nach den Nerven haben durchdringen sehen. Unter diesen Umständen ging es natürlich nicht an, der Flüssigkeitsfortführung in der Nervenfaser, wie es eigentlich hätte geschehen müssen, mit der genauen Verfolgung der wirksamen Componenten der Stromfäden nachzugehen; und wir haben unseren Ueberlegungen die Annahme zu Grunde gelegt, dass jeder Stromfaden auf seinem Verlaufe eine seiner Länge proportionale Anzahl von Capillarröhrchen seiner eigenen Richtung antrifft. Unsere Ergebnisse werden daher am zutreffendsten sein, wenn die Capillaren in allen möglichen Richtungen in der Nervenfaser verlaufen; denn wenn dann auch jeder Stromfaden noch in Capillaren wirksam sein wird, deren Richtung mit seiner eigenen Richtung einen schiefen Winkel bildet, so wird doch diese Wirkung einmal der Wirkung in den gleichgerichteten Capillaren nachstehen und zweitens, was den Flüssigkeitsgehalt der ver-

schiedenen Querschnitte d. h. die Füllung der diesseitigen oder jenseitigen Hohlräume betrifft, der eben genannten Wirkung sich anschliessen müssen. Immer aber werden, wie auch die Capillaren in der Nervenfaser verlaufen mögen, unsere Ergebnisse im Grossen und Ganzen richtig sein müssen, weil die Richtung der Fortführung in allen Röhrchen, welche der Stromfaden wirksam durchfliesst, im Grossen und Ganzen der Richtung des Stromfadens entsprechen und im einzelnen Röhrchen, je wirksamer in ihm der Stromfaden ist, gerade desto genauer auch die Richtung des Stromfadens einhalten muss.

Nach der Unterbrechung des Stromes, ergiebt endlich noch die Ueberlegung, werden in Folge der Elasticität des Nerven die durch den Strom gesetzten Flüssigkeitsgehalts-Verschiedenheiten der verschiedenen Querschnitte derselben Faser rasch mit abnehmender Geschwindigkeit sich abgleichen und zwar, wenn sie nur mässig waren, möglicherweise vollkommen, wenn sie aber beträchtlich waren, der unvollkommenen Elasticität des Nerven gemäss jedenfalls nur unvollkommen[1]. Auch nach der Umkehrung der Stromrichtung während der Durchströmung wird eine solche Abgleichung eintreten, und sie wird dann sogar noch rascher als nach der Unterbrechung des Stromes vor sich gehen, weil die Fortführung der Flüssigkeit durch den entgegengesetzt gerichteten Strom die Elasticität noch unterstützen wird. In dem letzteren Falle wird aber der Abgleichung die der neuen Stromrichtung entsprechende Flüssigkeitsgehalts-Veränderung der Querschnitte der Nervenfasern folgen.

(4.) Thatsächliche Bewährung der Ergebnisse der Anschauung in (3).

In ausgedehntem Masse liegen nun die Bewährungen dessen, was die Anschauung eben uns gelehrt hat, in den Untersuchungen der Kap. II.—V. vor uns, und nur einiger Bemerkungen wird es bedürfen, sie in ihrem vollen Umfange hervortreten zu lassen.

1) Bei dieser Gelegenheit sei noch erwähnt, was wir früher zu besprechen nicht Veranlassung hatten, dass auch in homogenen feuchten porösen Körpern, wenn bei ungleichartiger Zu- und Ableitung des Stromes Flüssigkeitsgehalts-Veränderungen durch den Strom in ihnen herbeigeführt worden sind [s. o. § 2 (1—3)], diese Veränderungen nach der Unterbrechung des Stromes in Folge der Elasticität der Gerüste sich abgleichen müssen. In dem »Verschwinden des äusseren secundären Widerstandes« ist dort auch schon von *du Bois-Reymond* die Abgleichung häufig constatirt worden; nur hat *du Bois-Reymond* über die Ursache der Abgleichung nirgends anders als bei dem hartgesottenen Eiweiss sich geäussert und sie hier darin gefunden, dass das getrocknete Eiweiss rasch wieder Feuchtigkeit anzieht (Ueber den secundären Widerstand u. s. w. A. a. O. S. 885 *.). Indessen wird auch bei dem Eiweiss die Elasticität des Gerüstes als wesentliche Ursache anzuerkennen sein, da die Abgleichung, wie bei grossem, so auch schon bei geringem Flüssigkeitsverluste des Eiweisses auftritt, wo dann der Flüssigkeitsgehalt der verarmten Stellen immer noch ein beträchtlicher ist.

Um ausschliesslich die Folgen der Anhomogenität als die Folgen der Flüssigkeitsfortführung im Nerven durch den Versuch vorzuführen, müssen offenbar die im § 2. erkannten Folgen der Flüssigkeitsfortführung ausgeschlossen sein, welche, durch die ungleichartige Zu- und Ableitung des Stromes bedingt, von der Constitution des Zu- und Ableiters abhängig sind und mit derselben wechseln. Diese Bedingung ist streng erfüllt, wenn wir uns des Nerven als Zu- und Ableiters bedienen, wie wir es bei den Versuchen des § 4. des Kap. V. gethan haben. Allein eingehendere Untersuchungen sind auf die Weise nicht auszuführen. Denn nicht nur ist die Versuchsweise so umständlich und so schwierig, dass selbst mit der grössten Aufopferung nur wenige brauchbare Ergebnisse gewonnen werden; nicht nur lassen die einmal gegebenen Verhältnisse des Nerven die wünschenswerthe Freiheit in den Versuchsbedingungen, z. B. hinsichts der Grösse der Berührungsfläche, nicht zu; sondern es sind auch, was vor Allem in's Gewicht fällt, die Widerstandsveränderungen des Nerven immer nur unvollkommen zu verfolgen, weil neben der zu prüfenden Nervenstrecke noch der grosse Widerstand anderer Nervenstücke, die nicht einmal kurz genommen werden können, im Schliessungskreise sich befindet, so dass bei kurzer zu prüfender Strecke sogar eher deren eigener Widerstand als der ausserwesentliche Widerstand des Kreises vernachlässigt werden dürfte. Es handelt sich daher darum, an Stelle des Nerven einen anderen Zu- und Ableiter des Stromes, welcher die angezeigte Bedingung erfüllt, zu gewinnen, eine Flüssigkeit zu ermitteln, welche die, wenn auch vielleicht isolirbare, so doch schwerlich in der erforderlichen Menge darzustellende Nervenflüssigkeit als Zu- und Ableitungsflüssigkeit ersetzen kann.

Nach § 2. lässt sich die Aufgabe noch dahin präcisiren, dass wir nach Ausschluss der den Nerven chemisch verändernden Substanzen eine Flüssigkeit zu suchen haben, welche in ihrer Leitungsfähigkeit, ihrer Adhäsion und ihrer Diffusion von der Nervenflüssigkeit nicht wesentlich abweicht. Der Nerv leitet nun nach *Harless*[1] etwa 15 mal besser als destillirtes Wasser, und da wir wissen, dass einen beträchtlichen Theil des Nerven das gegen die Nervenflüssigkeit sehr schlecht leitende Gerüst ausmacht, muss die Leitungsfähigkeit der Nervenflüssigkeit noch beträchtlich grösser sein. Einen Anhaltspunkt für die Schätzung der letzteren kann dann der von *Harless* ausgeführte Vergleich des Nerven mit einer Salzlösung von demselben Salzgehalte wie der Nerv gewähren, ein Vergleich, der ergeben hat, dass »durch die Einschaltung der verbrennbaren Stoffe: Eiweiss und Fett

1) Cit. s. o. S. 17. — Nach *Ranke* (Citat s. ebenda) leitet das Kaninchen-Rückenmark etwa 24mal besser als destillirtes Wasser. — Wir lassen uns nicht weiter auf eine Kritik der betreffenden Bestimmungen ein, weil es nur um eine ohngefähre Schätzung uns hier zu thun ist.

der Leitungswiderstand der (Nerven-) Salzlösung um das 7fache vergrössert ist«[1]. Danach würde die Leitungsfähigkeit der Nervenflüssigkeit etwa 100mal die des destillirten Wassers übertreffen und ebenso gross sein wie die einer sehr verdünnten Lösung eines der Alkalisalze, welche im Nerven vorkommen. Eine solche Lösung werden wir also als Zu- und Ableiter von gleicher Leitungsfähigkeit mit der Nervenflüssigkeit verwenden können; und welchem unter den Alkalisalzen des Nerven der Vorzug zu geben, wird nicht erst zu untersuchen nöthig sein, weil die Unterschiede, welche die Salze concentrirt in ihrer Adhäsion und Diffusion darbieten, bei so grosser Verdünnung doch auf ein Minimum reducirt sein müssen. Zugleich wird hinsichts der Diffusion unsere sehr verdünnte Alkalisalzlösung, z. B. 1%ige Kochsalzlösung, von der Nervenflüssigkeit nicht wesentlich abweichen, weil die Diffusionsgeschwindigkeit des Eiweisses selbst gegen die der in der Eiweisslösung enthaltenen Salze sehr gering ist. Nur die Adhäsion der Lösung wird eine andere als die der Nervenflüssigkeit sein. Aber die ungleiche Adhäsion kann offenbar bei gleicher Leitungsfähigkeit der beiden Flüssigkeiten für die im § 2. erkannten Folgen der Flüssigkeitsfortführung überhaupt nur dann von wesentlicher Bedeutung sein, wenn eine extreme Verschiedenheit der Adhäsion vorliegt: und daran ist in unserem Falle deshalb nicht zu denken, weil die eine der beiden Flüssigkeiten in der anderen enthalten ist.

Weshalb wir bei den eingehenden Untersuchungen der Kap. II. — IV. und des § 1. des Kap. V. immer den mit 1%iger Kochsalzlösung getränkten Thon als Zu- und Ableiter des Stromes verwandt haben, ist nunmehr vollkommen richtig zu durchschauen. Am Eingange unserer Untersuchungen hatte die Wahl der Tränkungsflüssigkeit des Thones nach *du Bois-Reymond* damit motivirt werden müssen, dass durch die Kochsalzlösung — gleichviel von welcher Concentration — das Auftreten des secundären Widerstandes am Nerven verhütet sei (s. o. S. 31.). Davon kann aber längst keine Rede mehr sein. In Wahrheit hat vielmehr die 1%ige Kochsalzlösung uns dazu gedient, die durch die ungleichartige Zu- und Ableitung des Stromes bedingten Folgen der Flüssigkeitsfortführung im Nerven auszuschliessen, weil diese Folgen höchstens nebenbei, wesentlich aber die Folgen der Anhomogenität des Nerven für uns von Interesse sind. Und wenn wir durch die Tränkung von Modellirthon mit der Kochsalzlösung für die Untersuchung uns die Vortheile verschafft haben, welche die Knetbarkeit des Thones gewährt (s. o. S. 31—2.), so haben wir dies doch nur in der Gewissheit gethan, dass alsdann die Zufuhr vom Zuleiter her und die Abfuhr vom Strom-

1) *Harless*, Abhandlungen der mathem.-physik. Klasse der Bayer. Akad. der Wiss. Bd. VIII. Abth. 2. S. 347*.

eintrittsende des Ableiters immer zureichend waren [s. o. § 2 (1); S. 434], so dass nicht etwa durch die Vernachlässigung dieser Bedingung das sichere Studium der Folgen der Anhomogenität, auf welches es uns ankam, von Neuem in Frage gestellt war.

Neben der sehr verdünnten Alkalisalzlösung hätte als die gesuchte Flüssigkeit noch das Hühnereiweiss in Frage kommen können. Des Eiweissgehaltes wegen scheint dieses auch unbedingt den Vorzug zu verdienen. Allein es ist zu bedenken, dass der zu grosse Eiweiss- und Salzgehalt das Hühnereiweiss in den hier in Betracht kommenden Eigenschaften möglicherweise gerade noch mehr — der Salzlösung gegenüber — von der Nervenflüssigkeit entfernt, als der Eiweissgehalt an sich es nähert; wie denn in der That bei den Versuchen des § 3. des Kap. V. unter sonst gleichen Umständen bei dem Hühnereiweiss im Allgemeinen eine grössere Widerstandszunahme durch den Strom und eine deutlichere Verengung der Stromeintrittsgegend des Nerven sich ergeben hat als bei der 1%igen Kochsalzlösung. Jedenfalls wäre erst durch besondere Versuche die günstige Verdünnung des Hühnereiweisses zu ermitteln gewesen, und wir haben zu solchen Versuchen wegen mancher gewichtiger Nachtheile, welche das Hühnereiweiss bot, keine Veranlassung gehabt. Es hätte nämlich das Hühnereiweiss, weil es Bedenken unterliegen musste, dasselbe in poröse Gerüste einzuschliessen, nur als freie Flüssigkeit sich verwenden lassen; und damit wären nicht nur für manche Versuche missliche Unbequemlichkeiten verbunden gewesen, sondern es würden auch im Allgemeinen die Widerstandsuntersuchungen weniger vollkommen sich haben durchführen lassen, weil neben der Nervenstrecke immer noch der grosse Widerstand einer langen Eiweissstrecke und eines zwischen das Eiweiss und die Zinklösung eingeschobenen, mit einer dritten Flüssigkeit getränkten porösen Körpers im Schliessungskreise sich hätte befinden müssen.

Bei der grossen Unsicherheit, mit welcher wir die Leitungsfähigkeit der Nervenflüssigkeit nur schätzen können, versteht es sich übrigens, auch ohne dass wir erst die oben (S. 191 ff.) uns bekannt gewordenen Variationen dieser Leitungsfähigkeit heranziehen, ganz von selbst, dass weder gerade von der 1%igen noch gerade von irgend einer anderen ähnlich verdünnten Kochsalzlösung sich behaupten lässt, dass sie in ihrer Leitungsfähigkeit mit der Nervenflüssigkeit übereinkomme; und es ist darum überall, wo die sehr verdünnte Kochsalzlösung als gleichartiger Zu- und Ableiter dienen soll, die Vorsicht geboten, ihre Concentration bei den verschiedenen Versuchen etwas schwanken zu lassen. Diese Vorsicht ist bei allen voraufgegangenen Untersuchungen, bei welchen etwas daran gelegen sein konnte, in doppelter Weise geübt worden: einmal so, dass dieselben Versuche wiederholt wurden, nachdem das ursprünglich mit 1%iger Kochsalz-

lösung angeriebene Thonstück immer mehr und mehr mit destillirtem Wasser ausgewaschen worden war, so dass die Concentration der Salzlösung im Thone abnehmen musste, und darauf neue Spitzen der Zuleitungsröhren von dem Thone hergestellt waren; und zweitens dadurch, dass dieselben Versuche mit verschiedenen Thonspitzen nach einander angestellt wurden, deren Thon mit 2, 1, $^3/_4$ und $^1/_2$ %iger Kochsalzlösung getränkt war. Soweit die Ergebnisse der Versuche oben verzeichnet sind, hat sich aber kein Unterschied in denselben gezeigt. Es müssen danach bei so verdünnten Kochsalzlösungen, wenn diese Lösungen in der Leitungsfähigkeit von der Nervenflüssigkeit abweichen, die durch die ungleichartige Zu- und Ableitung bedingten Folgen der Flüssigkeitsfortführung im Nerven immer noch jenseits der Genauigkeitsgrenzen unserer Untersuchungen fallen und gegen die anderweitigen Veränderungen des Nerven durch den Strom ganz zurücktreten.

Was wir bei den Untersuchungen der Kap. II.—IV. und des § 1. des Kap. V. als Folge der Flüssigkeitsfortführung im Nerven erkannt haben, alles Dieses finden wir also jetzt genauer als Folge der Anhomogenität des Nerven anzusprechen. Und wir übersehen nunmehr, dass in den Ergebnissen sowohl der eben angezogenen Untersuchungen wie der Versuche des § 4. des Kap. V. unmittelbar und in den Ergebnissen der übrigen Untersuchungen mittelbar — nach Eliminirung nämlich der durch die ungleichartige Zu- und Ableitung bedingten Folgen der Flüssigkeitsfortführung — reichliches Material uns gegeben ist, durch welches die Resultate der Anschauung in (3), wenn anders sie richtig sind, Bewährung finden müssen.

Bevor wir jedoch dieser Bewährung unsere Aufmerksamkeit zuwenden, haben wir noch eines Vortheiles zu gedenken, der mit aus der eben gewonnenen Einsicht fliesst. Die Selbstständigkeit der Ermittelungen, zu welchen die Untersuchungen der Kap. II.—IV. und des § 1. des Kap. V. über die Folgen der Flüssigkeitsfortführung im Nerven uns geführt haben, war offenbar verloren gegangen, als wir oben S. 411. einzugestehen hatten, die zu allererst aufgefundene Widerstandszunahme der Nervenstrecke durch den Strom willkürlich im § 3. des Kap. II. der stellenweisen Verarmung der Nervenstrecke zugeschrieben zu haben, und unsere Willkür durch die durchgängige Uebereinstimmung der Gestaltsveränderungen mit den Folgerungen, welche wir aus den Widerstandsveränderungen gezogen hatten, rechtfertigen mussten. Jetzt ist die Selbstständigkeit jener Ermittelungen wieder hergestellt. Denn wenn auch im Allgemeinen einer Widerstandszunahme der Nervenstrecke in Folge der Flüssigkeitsfortführung ebensowohl ein stellenweiser Ersatz der Nervenflüssigkeit durch schlechter leitende Flüssigkeit wie eine stellenweise Veränderung des Flüssigkeitsgehaltes zu Grunde liegen kann, so muss doch, wenn eine solche Widerstandszunahme,

wie es für die des § 1 (2) des Kap. II. eben sich herausgestellt hat, speciell eine Folge der Anhomogenität ist, nach (1) unbedingt eine Flüssigkeitsgehalts-Veränderung die unmittelbare Ursache der Widerstandszunahme sein. Die Ergebnisse unserer Widerstandsuntersuchungen bedürfen demnach in Wahrheit durchaus nicht von vornherein einer Stütze von Seiten der Gestaltsveränderungen, und es bleibt bei dem, was wir in den Kap. II.—IV. wiederholt hervorgehoben haben, dass die Uebereinstimmung der Gestaltsveränderungen und der Ergebnisse der Widerstandsuntersuchungen die Richtigkeit unserer Ermittelungen auf das Beste verbürgt.

Sehen wir davon ab, dass die Widerstandsuntersuchungen ohne Aufschluss darüber uns gelassen haben, ob die Flüssigkeitsgehalts-Veränderung im Querschnitte des Nerven die verschiedenen Fasern gleichmässig oder ungleichmässig betrifft, so ist es nur eine einzelne zur Zeit wichtige Frage, bei welcher wir durch die Widerstandsveränderungen für sich ohne Concurrenz der Gestaltsveränderungen die erwünschte Entscheidung nicht geliefert finden. Die Versuche des § 2. des Kap. IV. haben ergeben, dass die der Stromaustrittsgegend zugehörigen Stellen der intrapolaren Nervenstrecke mehr als die mittleren Stellen unter dem Einflusse des Stromes an Widerstand verlieren und zwar um so mehr, je näher sie dem Stromaustrittsende selbst gelegen sind (s. o. S. 357; Fig. 22.). Daraus war im § 3. des Kap. IV. der Schluss sehr nahe gelegt, dass es, wie am Stromeintrittsende der intrapolaren Nervenstrecke mit der Verarmung, gerade so am Stromaustrittsende mit dem Reicherwerden an Flüssigkeit sich verhält. Indessen wäre dieser Schluss, hätten wir ihn nicht vorsichtig vermieden, nicht mehr bindend gewesen, sobald wir im § 1. die richtige Einsicht in den Strömungsvorgang im Nerven gewonnen hatten. Denn unsere Erfahrung könnte ihre Erklärung möglicherweise einfach in der Erwärmung durch den Strom finden, weil die durch den Strom erzeugte Wärmemenge wegen der alinearen Durchströmung des Nerven in einer Stelle am (Stromein- oder) Stromaustrittsende grösser sein muss als in einer gleichlangen mittleren Stelle der intrapolaren Nervenstrecke. Höchstens liesse auf Grund des Verlaufes der Curve der Widerstandszuwächse in der Stromaustrittsgegend sich wahrscheinlich machen, dass der grösseren Widerstandsabnahme der Stromaustrittsgegend neben der stärkeren Erwärmung noch ein Flüssigkeitsgewinn zu Grunde liegt; und um für den letzteren mit Sicherheit uns erklären zu können, müssen wir daher doch auf die Gestaltsveränderungen des Nerven uns berufen. Bei den mittleren Stellen der intrapolaren Nervenstrecke reichen dann aber die Widerstandsuntersuchungen für sich allein wieder aus. Denn da die Erwärmung hier überall die gleiche sein muss, ist der überall gleichmässigen Widerstandsabnahme unter dem Einflusse des Stromes (s. o. S. 358; Fig. 22.) zunächst zu entnehmen, dass die mitt-

leren Stellen entweder sämmtlich gar keine oder sämmtlich die gleiche Flüssigkeitsgehalts-Veränderung erfahren; und da vom Stromeintrittsende aus nach innen hin die Verarmung, vom Stromaustrittsende aus nach innen hin das Reicherwerden abnimmt, kann es weiter nicht anders sein, als dass gar keine Flüssigkeitsgehalts-Veränderung in den mittleren Stellen erfolgt.

Wir sind nun endlich so weit, dass wir daran gehen können, die Ergebnisse der Versuche mit den Ergebnissen der Anschauung in (3) zu vergleichen.

Fassen wir zunächst die Untersuchungen der Kap. II.—IV. und des § 1. des Kap. V. in's Auge, so hat bei ihnen folgendes Hierhergehörige sich herausgestellt. Bei der Längsdurchströmung des Nerven wird unter dem Einflusse des Stromes die Stromeintrittsgegend der intrapolaren Nervenstrecke an Flüssigkeit ärmer, die Stromaustrittsgegend an Flüssigkeit reicher. Der Flüssigkeitsverlust und — minder zuverlässig und genau — der Flüssigkeitsgewinn sind an der Stromein- resp. Stromaustrittsstelle selbst am grössten und nehmen in der Richtung nach der Mitte der Nervenstrecke hin rasch ab, wie sie auch nach aussen hin rasch kleiner werden. Dem Flüssigkeitsverluste unterliegt vorwiegend die der Elektrode zugekehrte Nervenhälfte, der Flüssigkeitsgewinn scheint gleichmässiger den Nerven in seiner ganzen Dicke zu betreffen. Die mittlere Partie der Nervenstrecke wird in ihrem Flüssigkeitsgehalte nicht verändert. Auch bei der Quer- und bei der Schrägdurchströmung des Nerven wird unter dem Einflusse des Stromes die Stromeintrittsgegend an Flüssigkeit ärmer, die Stromaustrittsgegend an Flüssigkeit reicher; und die Verarmung und das Reicherwerden werden hier gleichfalls von der Stromein- resp. Stromaustrittsstelle aus nach beiden Seiten des Nerven hin rasch kleiner. Mit der Stromdauer wachsen alle vorerwähnten Flüssigkeitsgehalts-Veränderungen sowohl hinsichts ihrer Grösse wie hinsichts ihrer Ausdehnung in der Länge des Nerven. Nach der Unterbrechung des Stromes bilden die durch den Strom gesetzten Flüssigkeitsgehalts-Veränderungen sich zurück; und noch rascher hat die Rückbildung nach der Umkehrung der Stromrichtung statt, in welchem Falle aber die Flüssigkeitsgehalts-Veränderungen, welche der neuen Stromrichtung entsprechen, unmittelbar nachfolgen.

Wo wir dann statt des mit 1%iger Kochsalzlösung getränkten Thones im § 4. des Kap. V. den Nerven und im § 3. desselben Kapitels freie 1%ige Kochsalzlösung oder Hühnereiweiss als Zu- und Ableiter des Stromes verwandt haben, sind, soweit die Untersuchungen sich erstreckt haben, nur dieselben Ergebnisse wie bei den erstbetrachteten Untersuchungen gewonnen worden. Der Voraussicht in (3) sehen wir also ganz allgemein die Versuchsergebnisse entsprechen, wo in den Folgen der Flüssigkeitsfortführung unmittelbar die Folgen der Anhomogenität hervortreten.

Aber auch bei unseren übrigen Untersuchungen finden wir Bewährungen unserer Ergebnisse der Anschauung in (3) überall da, wo wir die durch die ungleichartige Zu- und Ableitung bedingten Folgen der Flüssigkeitsfortführung genügend auszuschliessen im Stande sind. Zwei Male ist dies der Fall.

Wie man sich erinnert, ist es im § 2 (4) uns gelungen, für die Versuche der dritten Reihe des § 2. des Kap. V. auszumachen, dass auch bei ihnen die unerwartete, von der ungleichartigen Zu- und Ableitung des Stromes unabhängige accessorische Widerstandszunahme unter dem Einflusse des Stromes aufgetreten ist, welche zuerst bei der Zu- und Ableitung durch den Nerven oder durch Hühnereiweiss uns aufgefallen war; und wir haben die unerwartete Widerstandszunahme oben in (2) im Allgemeinen als Folge der Anhomogenität anzusprechen gehabt. Wie nun diese Widerstandszunahme eben schon in den Fällen gleichartiger Zu- und Ableitung als des Genaueren den Ergebnissen der Anschauung in (3) entsprechend sich herausgestellt hat, so ergiebt sich das Nämliche auch für die Fälle ungleichartiger Zu- und Ableitung. Denn indem die Versuche der dritten Reihe des § 2. des Kap. V. von den Versuchen der ersten Reihe dadurch abwichen, dass an die Stelle der linearen die alineare Durchströmung des Stromeintrittsendes der Nervenstrecke trat, ist es nur gemäss der Voraussicht in (3), dass bei den erstgenannten Versuchen die Folgen der Anhomogenität am Stromeintrittsende, durch welche wir bei der 1%igen Kochsalzlösung als Zu- und Ableiter des Stromes eine accessorische Widerstandszunahme bedingt gefunden haben, hinzugetreten sind. Hätte im § 2. des Kap. V. der Strömungsvorgang nicht im Stromeintrittsende, sondern im Stromaustrittsende gewechselt, so wäre bei den Versuchen der dritten Reihe nicht unsere unerwartete Zunahme, sondern eine unerwartete Abnahme des Widerstandes, die freilich schwerlich sich hätte constatiren lassen, erfolgt. Wir können uns dafür auf die Versuche des § 1. des Kap. V. berufen, bei welchen die unerwartete Widerstandszunahme immer nur dann sich gezeigt hat, wenn der Strom an der mittleren Stelle des Nerven ein- und an der Querschnittfläche austrat, nicht aber, wenn Ein- und Austritt sich umgekehrt verhielten. Diese Versuche, welche die Selbstständigkeit der Folgen der Anhomogenität am Stromein- und Stromaustrittsende auf das Schlagendste darthun, haben auch sogleich oben S. 451. die Abhängigkeit der unerwarteten Widerstandszunahme von der Art der alinearen Durchströmung uns nahe gelegt; wir brauchten dort jedoch bei der Abhängigkeit nicht weiter zu verweilen, weil das tiefere Verständniss der unerwarteten Widerstandszunahme, zu welchem von anderer Seite her zu gelangen uns in Aussicht stand, das Verständniss der Abhängigkeit einschloss.

Für's Zweite haben wir in der zweiten Versuchsreihe des § 2. des Kap. V., wenn mit concentrirter Salmiaklösung getränkter Thon als Zuleiter diente, als Folgen der Durchströmung manchmal zu beiden Seiten der sehr verengten Stromeintrittsstelle Anschwellungen des Nerven von geringer Ausdehnung gefunden, welchen wiederum beiderseits allmählich abnehmende Verengungen des Nerven folgten (s. o. S. 379.); auch hat dasselbe Bild die Stromeintrittsgegend häufig gewährt, wenn freie concentrirte Alkalisalzlösungen oder Kalihydratlösung den Strom zu- und ableiteten (s. o. S. 387.); endlich haben wir solche Veränderungen in der Stromeintrittsgegend und entsprechende Veränderungen in der Stromaustrittsgegend des Nerven erfolgen sehen bei der Zu- und Ableitung des Stromes durch sehr dünne Drähte (s. o. S. 401.). Diese Gestaltsveränderungen des Nerven können aber durch die ungleichartige Zu- und Ableitung des Stromes, wie die Erwägung der möglichen Folgen dieser ergiebt [vgl. § 2 (1)], keinesfalls bedingt sein; ihre mittelbare Ursache lässt sich vielmehr nur in Eigenthümlichkeiten des Nerven selbst suchen, wie eine solche in der Anhomogenität uns bekannt ist. Und wir sind denn auch hier offenbar nur auf die Flüssigkeitsgehalts-Veränderungen gestossen, welche oben S. 472. bei der Längsdurchströmung als Folgen dessen vorausgesehen sind, dass die Stromdichte in den Nervenfasern von der Stelle des senkrechten Stromfadens aus nach innen hin zuerst abnimmt und danach wieder zunimmt.

Durch die Veränderung der Stromdichte in der einzelnen Nervenfaser sind übrigens auch, wie wir im Anschlusse bemerken wollen, die ausnahmsweisen Versuchsergebnisse bedingt, deren S. 359 ff. gedacht wurde. Während im mittleren Theile eines homogenen feuchten porösen Körpers, welche Form der Körper auch haben mag, der Strom Flüssigkeitsgehaltsveränderungen nicht herbeiführen kann, weil für die in dem Querschnitte der Strombahn fortgeführte Flüssigkeitsmenge die Zahl der Röhrchen immer die Grösse der Fortführung im einzelnen Röhrchen compensirt (s. o. S. 443.), muss im unregelmässig gestalteten mittleren Theile der intrapolaren Nervenstrecke bei der Längsdurchströmung, wenn die Stromdichte in der einzelnen Faser in der Richtung des Stromes zunimmt oder abnimmt, an den Stellen grösserer Dichte eine Verringerung resp. Vermehrung des Flüssigkeitsgehaltes unter dem Einflusse des Stromes erfolgen, weil die Anhomogenität den Uebertritt der Nervenflüssigkeit von einer Faser zur anderen, wie er für jene Compensation erforderlich ist, hindert. Es tritt dann auch im mittleren Theile der intrapolaren Nervenstrecke ein, was bei einer prismatischen Nervenstrecke nur in der innersten Partie der Stromein- und Stromaustrittsgegend zu erwarten war.

(5.) Schlussbemerkungen.

Hier brechen wir unser Studium der Flüssigkeitsfortführung und ihrer Folgen im Nerven einstweilen ab.

Was wir mit den Untersuchungen dieses Kapitels zunächst bezweckten, ist jetzt in unerwarteter Vollkommenheit erreicht; denn statt der Lösung der eng begrenzten Aufgabe, welche wir S. 412. uns gestellt haben, ist das tiefere Verständniss sogleich aller der Folgen der Flüssigkeitsfortführung, welche die voraufgegangenen Untersuchungen der intrapolaren Nervenstrecke ergeben hatten, gewonnen worden. Und indem nunmehr die Flüssigkeitsfortführung und ihre Folgen in der durchströmten Nervenstrecke, wie auch immer der Nerv durchströmt sein mag, in der zur Zeit nur wünschenswerthen Weise durchsichtig sind, ist der befriedigende Abschluss unserer Untersuchung der intrapolaren Nervenstrecke, wie wir ihn S. 412. in Aussicht stellten, erzielt. Kaum möchte es nöthig scheinen, die Abhängigkeit der Folgen der Flüssigkeitsfortführung von verschiedenen Umständen, welche wir im Kap. III. ermittelt haben, noch von dem neu gewonnenen Standpunkte aus zu betrachten.

Aber die Folgen der Anhomogenität des Nerven sind mit den uns bisher bekannt gewordenen Flüssigkeitsgehalts-Veränderungen, welche die (senkrechten) Querschnitte der Nervenfasern in der durchströmten Nervenstrecke erfahren, nicht abgeschlossen.

Sehen wir genau zu, so finden wir, dass unsere Versuchsergebnisse bei der Längsdurchströmung des Nerven den Ergebnissen der Anschauung in (3) in Einzelheiten doch nicht ganz entsprechen. Zwar scheinen die Abweichungen zunächst nur untergeordnete und bei den Grenzen, welche zur Zeit unseren Untersuchungen wie unserer Einsicht gesteckt sind, kaum weiter beachtenswerth zu sein. In der That aber spricht sich in ihnen die Wirkung eines wichtigen Umstandes aus, welchen wir bei den Ueberlegungen in (3), so sehr er sich auch stellenweise aufdrängte, absichtlich vernachlässigt haben, der Elasticität des Nervengerüstes.

Diese Elasticität ist für die Folgen der Anhomogenität des Nerven von der grössten Bedeutung in den extrapolaren Nervenstrecken, nur von geringerer und, man könnte sagen, meist mittelbarer Bedeutung in der intrapolaren Nervenstrecke; und es lassen sich ihre Wirkungen in der letzteren Nervenstrecke nicht gut gesondert betrachten. Wir wollen deshalb die experimentelle Untersuchung der extrapolaren Nervenstrecken voraufnehmen und, sobald genug Erfahrungsmaterial vorliegen wird, das Studium der Folgen der Anhomogenität des Nerven von da aus, wo wir es hier abgebrochen haben, weiter fortführen.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

Häusler.

5

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Munk, Hermann

Untersuchungen über das Wesen der Nerven-Erregung

Bd.: 1

Leipzig 1868

Anat. 304 s-1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10369089-1